

AURORA DEL ROSARIO GUEREQUIZ

**“CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DOS
IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA QUALIDADE DAS
ÁGUAS DE UM AQUIFERO FISSURADO NO EMBASAMENTO PRÉ-
CAMBRIANO URUGUAIO”**

Dissertação apresentada como requisito
parcial a obtenção do grau de Mestre pelo
Curso de Pos-Graduação em Geologia
Ambiental, Setor de Ciências da Terra da
Universidade Federal do Paraná

Orientador Prof Dr Ernani Francisco da
Rosa Filho

Co-orientador Prof Dr Andre Virmond Lima
Bittencourt

CURITIBA

2004

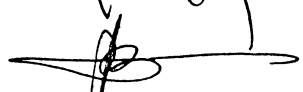
TERMO DE APROVAÇÃO

Aurora Del Rosário Guèréquiz

**“CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DOS
IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA QUALIDADE DAS
ÁGUAS DE UM AQUIFERO FISSURADO NO EMBASAMENTO PRÉ-
CAMBRIANO URUGUAIO”**

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em
Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da
Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por


Prof Dr Chang Hung Kiang - UNESP


Prof Dr André Virmond Lima Bittencourt - UFPR


Prof Dr Ernani Francisco da Rosa Filho - UFPR
Presidente

Curitiba, 05 de abril de 2004

*...asomando por el túnel,
dominando la emoción,
a la cancha La Celeste,
a las páginas de gloria
escalón por escalón....*

Vamo´

Vamo´ arriba la Celeste

Vamo´

la de Ayer y la de Hoy...

Vamo´, como dice el Negro Jefe

"los de afuera son de palo,

que comience la función..."

Jaime Ross



*A minha mãe e meu esposo,
Margarita e Cláudio,
pelos quais, tudo é possível*

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar minha gratidão a todas aquelas pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial

Aos Professores Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho e Dr. Andre Virmond Lima Bittencourt, pela confiança, paciência e as valiosas contribuições com que me orientaram neste trabalho,

Ao Prof. Dr. Gerardo Veroslavsky, pela confiança, as valiosas contribuições com que me orientou neste trabalho e, especialmente, pela amizade ao longo destes anos e o estímulo constante, particularmente nas etapas finais,

À Br. Ethel Morales Pérez, pela amizade e pela ajuda inestimável nas coletas das amostras, no laboratório, na confecção das figuras e mapas e as valiosas contribuições a este trabalho,

Ao M.Sc. Eduardo Chemas Hindi, pela amizade, a paciência e pelas valiosas contribuições para com este trabalho,

A la Intendencia Municipal de Montevideo, áreas de Montevideo Rural e Laboratorio de Higiene Ambiental, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, en particular al Ing. Agr. Alberto Gomez y a la PhD. Beatriz Brena,

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado,

Ao "Programa Regular de Adiestramiento" da Organização dos Estados Americanos, "Academic and professional Programs for the Americas" LASPAU-Harvard University, pela concessão de uma bolsa de estudos, especialmente ao meu Program Advisor, Mr. Andrew Elrick,

Ao Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal de Paraná, Curitiba, pelo apoio brindado durante meus estudos,

A la Facultad de Ciencias-Universidad de la República (Uruguay) por el apoyo brindado para la realizacion de los estudio de posgrado

A la empresa MILOTUR S A (Agua Nativa), en la figura de su Director Sr Fernando Miguez Vanetti, por el apoyo brindado para la realizacion de los estudio de posgrado

A todos os funcionarios da Secretaria da Pos-Graduação em Geologia, em particular a Santa, Daniel, Augusta e Rosalda pelo auxilio solicitado e, especialmente, pela amizade,

A todos os colegas do curso de Pos-Graduação pela amizade e pelos bons momentos compartilhados Especialmente a Narali, Ronaldo, Neoli, Valter, Renata, Malu, Josette, Miriam, Cristiane e Luciana, pela ajuda e amizade inestimável em diferentes situações,

A todos los colegas uruguayos que, de una u otra forma contrubuyeron para que este trabajo fuera posible, en particular a Rossana, César, Enrique y los "paleos" por el apoyo en los momentos de tension

Aos meus caros amigos Javier Rodriguez Yañes, Isaac e Anaik de Nunes Cordeiro, Eduardo, Patricia, Tiago e Felipe Hindi, Narcizo e Aline Marquez da Silva, meus "pais brasileiros", pelo apoio inestimável que tem me brindado,

A mis queridos amigos uruguayos Sebastián Huelmo y Pablo Decoud, por el cariño, el apoyo y las ideas,

y finalmente a Claudio, una vez mas, por quien todo fue, es y sera posible

Curitiba, Fevereiro de 2004

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO	15
2 1 LOCALIZAÇÃO	15
2 2 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	17
2 3 CLIMA	18
2 4 VEGETAÇÃO	21
2 5 SOLOS	24
2 6 GEOMORFOLOGIA	25
2 7 GEOLOGIA	27
2 8 HIDROGEOLOGIA	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3 1 HIDROQUÍMICA	42
3 1 1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	44
3 1 1 1 MÉTODO DE AMOSTRAGEM	44
3 1 1 2 PARÂMETROS ANALISADOS E PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	45
3 1 1 3 RELAÇÕES IÔNICAS CARACTERÍSTICAS	52
3 1 2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA	52
3 1 3 DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS E CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DA ÁGUA	54
3.1.3.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A IMPORTÂNCIA DOS ÂNIONS E- CÁTIONS	55
3 1 3 2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE DADOS HIDROQUÍMICOS	56
3 2 HIDROGEOLOGIA	57
3 2 1 CADASTRAMENTO DOS POÇOS	57
3 2 1 1 NOMENCLATURA	57

3 2 2 NATUREZA DO FLUXO SUBTERRÂNEO E CARÁTER LITOLÓGICO	57
3 2 3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS	58
3 2 3 1 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)	59
3 2 3 2 GRAU DE MINERALIZAÇÃO	60
3 2 3 3 DUREZA TOTAL	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4 1 HIDROQUÍMICA	63
4 1 1 APRESENTAÇÃO DE DADOS HIDROQUÍMICOS	63
4 1 2 AVALIAÇÃO DOS DADOS	63
4 1 3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA	66
4 1 4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA	69
4 1 4 1 PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS	69
4 1 4 2 ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS	88
4 1 4 3 CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DA ÁGUA	92
4 1 5 QUALIDADE DAS ÁGUAS	97
4 2 HIDROGEOLOGIA	105
4 2 1 O EMBASAMENTO CRISTALINO PRÉ-CAMBRIANO	105
4 2 1 1 O SISTEMA FISSURADO	105
4 2 1 1 1 ANÁLISE TECTÔNICO ESTRUTURAL	106
4 2 2 CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO EMBASAMENTO	108
4 2 2 1 ROCHAS COMPACTAS OU SECAS AQUÍFUGOS	108
4 2 2 2 ROCHAS DÚTEIS AQUITÁRDOS	109
4 2 2 3 ROCHAS RÚPTEIS AQUÍFEROS	109
4 2 3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TIPO TECTÔNICO	109
4 2 3 1 DIACLASSAS DE TENSÃO	109
4 2 3 2 FRATURAS DE TENSÃO	109
4 2 3 3 INTERCONEXÃO DE FRATURAS	110
4 2 3 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO E RENDIMENTO DE POÇOS	111
4 2 3 1 PROFUNDIDADE	111
4 2 3 2 VAZÃO	113
4 2 3 3 VAZÃO ESPECÍFICA	114
4 2 3 4 EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS	114

5 CONCLUSÕES	118
--------------	-----

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
------------------------------	-----

ANEXO I MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS

ANEXO II MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

ANEXO III PLANILHAS DE DADOS HIDRÁULICOS E FÍSICO – QUÍMICOS

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS ANALÍTICO	45
TABELA 2	CLASSIFICAÇÃO PELA IMPORTÂNCIA DE ÂNIONS E CÁTIONS	55
TABELA 3	CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A CONDUTÂNCIA ESPECÍFICA (K)	55
TABELA 4	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O CONTEÚDO DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS	60
TABELA 5	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE MINERALIZAÇÃO	60
TABELA 6	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE DUREZA	62
TABELA 7	INDICES GEOQUÍMICOS PARA INVERNO E PRIMAVERA 2002	88
TABELA 8	INDICES GEOQUÍMICOS PARA VERÃO 2002 E OUTONO 2003	89
TABELA 9	CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES AMOSTRADAS	96
TABELA 10	CLASSIFICAÇÃO EM BASE AO PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E PERCENTAGEM DE POÇOS AFETADOS EM CADA ESTAÇÃO	103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
FIGURA 2	ACESSO À ÁREA DE TRABALHO	16
FIGURA 3	PRESSÃO (CORES) E DIREÇÃO DOS VENTOS (SETAS) NA SUPERFÍCIE ENTRE 1982 E 1994	19
FIGURA 4	BACIAS HIDROGRÁFICAS DO URUGUAI	23
FIGURA 5	SETOR NORDESTE DA ÁREA DE ESTUDO COM O RIO SANTA LUCIA AO FUNDO E O POÇO 69	25
FIGURA 6	BORDA SUDOESTE DA ÁREA DE ESTUDO NA COSTA DO RIO DA PRATA	26
FIGURA 7	PRINCIPAIS UNIDADES GEOTECTÔNICAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO URUGUAIO	27
FIGURA 8	ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DOS POÇOS NAS ESTAÇÕES AMOSTRADAS, SENDO O VERMELHO O AGRUPAMENTO A (DIREITA) E O VERDE O AGRUPAMENTO B (ESQUERDA)	67
FIGURA 9	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE INVERNO 2002	72
FIGURA 10	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE PRIMAVERA 2002	73
FIGURA 11	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE VERÃO 2002	74
FIGURA 12	FAZENDA DE CRIAÇÃO DE FRANGOS	78
FIGURA 13	DETALHE DOS GALINHEIROS E DOS FRANGOS	78
FIGURA 14	MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE NITRATO PARA AS ESTAÇÕES AMOSTRADAS	79
FIGURA 15	DETALHE DAS SUBSTÂNCIAS CONTAMINANTES ORGÂNICAS E INORGÂNICAS ENCONTRADAS NAS PROXIMIDADES DO POÇO 72	81
FIGURA 16	MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE NA -CL PARA INVERNO	83
FIGURA 17	MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE NA -CL PARA PRIMAVERA	84
FIGURA 18	MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE NA -CL PARA VERÃO	85
FIGURA 19	DIAGRAMA DE PIPER PARA INVERNO	93
FIGURA 20	DIAGRAMA DE PIPER PARA PRIMAVERA	94
FIGURA 21	DIAGRAMA DE PIPER PARA VERÃO	95
FIGURA 22	PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS - INVERNO	100

FIGURA 23	PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS –PRIMAVERA	101
FIGURA 24	PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS –VERÃO	102
FIGURA 25	DIAGRAMA DE FREQUÊNCIAS OU ROSA DOS VENTOS	107
FIGURA 26	PROFUNDIDADE DOS POÇOS ESTUDADOS	112
FIGURA 27	VAZÃO DOS POÇOS ESTUDADOS	112
FIGURA 28	CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS-INVERNO	115
FIGURA 29	CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS-PRIMAVERA	116
FIGURA 30	CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS-VERÃO	117

RESUMO

A zona de Punta Espinillo está situada ao NW da cidade de Montevideu, capital do Uruguai, na margem do rio Santa Lucia perto de sua foz no Rio da Prata. Trata-se de um sistema fissurado desenvolvido em rochas do embasamento precambriano uruguaio. Esta zona está afetada por uma intensa atividade agrícola desde o começo do século XX. Neste arcabouço, com o desenvolvimento tecnológico têm sido incrementadas as captações de água subterrânea e paralelamente a eficiência dos sistemas de irrigação. Em função do tamanho das parcelas, minifúndios menores a 3 hectares, e na necessidade de ter um poço por produtor, a densidade de poços que captam água subterrânea é muito alta, gerando que alguns deles fiquem localizados na mesma fenda produtora. Isto levou aos produtores a aumentar as vazões e os tempos de bombeamento dos poços, sem o necessário controle. O resultado é o rebaixamento dos níveis estáticos de maneira surpreendente, alguns dos poços secaram, e em outros o nível estático estabilizou-se abaixo do nível do mar, sugerindo a entrada da cunha salina para justificar os elevados teores de sais nestas águas. Todavia, os estudos geoquímicos das águas, apresentados neste trabalho, indicam que é improvável uma origem marinha, mas sim continental. Por outro lado, o aumento da salinidade gera uma diminuição da absorção dos nutrientes pelas plantas, induzindo um aumento no uso de fertilizantes, principalmente os de origem animal, e alguns inorgânicos nitrogenados (NPK), e com eles o aumento dos teores de nitratos.

ABSTRACT

Punta Espinillo area is located in the Northwest of Montevideo district/Uruguay, besides the right margin of Santa Lucia River, in the mouth of it, into the Río de la Plata river. The territory structure is built in small plots which vary from 3 to 5 hectares. This zone is characterised by an intense agronomic activity, which produces a large amount of the vegetables consumed in Montevideo City. It has a high demand of water for irrigation systems, which has not been rationally planned. Nowadays, in every plot there is a well, and some are located in the same fracture. The water is extracted from a fractured aquifer system that has exceptional characteristics because of its water amount. However, its intense exploitation generated high drawdowns in wells, even coming to the extreme of their complete depletion. In connection, there is an increase of ionic concentrations of sodium, chloride, sulphates and nitrates well above of the national and international sanitary standards, which ones are suspicious of been associated with non appropriate agronomic practices and the possibility of marine water intrusion. These hypotheses were tested with the study of chemical analyses represented by geochemical contour maps and some geochemical indexes. On one hand, the sodium and chlorates geochemical contour maps (show that there is an increase in their concentration in wells who are located too far away from the Río de la Plata river, to have a connection with it. On the other hand, the virtual potentiometric contour maps show that the water flow directions are NS, to the Río de la Plata. In addition, the geochemical indexes calculated were Mg^{++}/Ca^{++} , K^{+}/Na^{+} y Cl^{-}/HCO_3^{-} . These relations show that all the waters have a continental origin in opposite to the suspected marine water intrusion. In relation to nitrates, all the wells have very high concentrations, some of them above 300 mg/L. The higher concentrations are

associated with plots that generally use natural animal fertilisers. These concentrations of sodium, chlorates and nitrates qualify these waters as non-drinkable, by the international standards, and non-acceptable by the national standards. In relation with irrigation, they have severe restrictions because of the risk of alcalinization and salinization of the soils.

Key words Fractured System, hydrogeochemistry, salinity, Uruguay

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social de uma comunidade agrícola depende da disponibilidade de água em quantidade e qualidade capazes de satisfazer suas necessidades. A deterioração qualitativa e quantitativa das fontes superficiais, as quais apresentam insuficiência para atender a demanda, além de longos períodos de secas, faz com que se busquem alternativas para o abastecimento nas fontes de água subterrânea.

O “Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego” (PRENADER), financiado pelo Banco Mundial, foi concebido para resolver de forma imediata os problemas de abastecimento de água dos produtores de diferentes regiões do país, sendo uma delas Punta Espinillo.

Neste arcabouço, com o desenvolvimento tecnológico, tem sido incrementado o número de captações de água subterrânea e paralelamente a eficiência dos sistemas de irrigação.

Em função das dimensões da área, aproximadamente 12 km², e do tamanho das parcelas, minifúndios menores a 3 hectares, a densidade de poços que captam a água subterrânea é muito alta, com mais de 40 poços. Alguns deles estão localizados na mesma fenda produtora, gerando interferências entre poços vizinhos (MONTAÑO et al 1998).

Esta situação levou os produtores a aumentar as vazões e os tempos de bombeamento dos poços sem o controle necessário, gerando problemas de ordem ambiental e sócio - econômica.

O resultado é o rebaixamento dos níveis estáticos de maneira surpreendente, alguns dos poços secaram, e em outros o nível estático fixou-se abaixo do nível do mar, gerando a suspeita da entrada da cunha salina (MONTAÑO et al 1998).

Por outra parte, o aumento da salinidade das águas gera uma

diminuição da absorção dos nutrientes pelas plantas, com o qual, aumentou o uso de fertilizantes, tanto naturais como os adubos orgânicos e os nitrogenados (NPK) e com eles o aumento dos nitratos, nitritos e do fósforo

A área apresenta um uso do solo homogêneo, toda ela está dedicada à agricultura principalmente de alface, brócolis, couve-flor, cenoura, batatas e beringela. A água é utilizada na agricultura (irrigação, pulverizações e lavagem de hortaliças), criação de animais (frangos) ou abastecimento doméstico. Na maioria das parcelas a água é bombeada diretamente dos poços, só quatro parcelas têm açudes, de pequeno porte.

Pela importância que representam para o abastecimento doméstico e uso agrícola da comunidade local, procurou-se coletar e avaliar dados sobre a qualidade e quantidade da água subterrânea com vista a interpretar os possíveis impactos das atividades agrícolas nas águas subterrâneas do aquífero fissurado.

Os objetivos deste trabalho foram

- Descrever as características hidroquímicas do aquífero fissurado na área de estudo,
- Determinar se as altas concentrações de cloretos e sódio têm ligação com a hipótese da entrada da cunha salina,
- Avaliar qualitativamente o impacto das atividades agrícolas na qualidade das águas do aquífero fissurado

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área de Punta Espinillo está situada 15 Km ao noroeste da cidade de Montevideu, capital do Uruguai, na margem do rio Santa Lucia perto de sua foz no Rio da Prata. É uma comunidade costeira localizada pelas coordenadas 34,5° latitude sul e 56° longitude oeste (FIGURA 1)

O Departamento de Montevideu tem uma superfície de 528,7 km² que se reparte em 192,3 km² de área urbana e 336,4 km² de área rural. Moram nele 1 344 800 pessoas. Possui 67 km de costa sobre o Rio da Prata (TODO URUGUAY, 1999)

O acesso à área de trabalho é feito pela estrada nacional Nº 1 que liga a área urbana com a área rural, num percurso de 15 Km, até a entrada do “camino General Basilio Muñoz”, e segue nele até o “camino a Punta Espinillo”. Entra nele pegando à direita e segue até o “camino do Tropero”, sendo todos parcialmente asfaltados (FIGURA 2)

Os poços estudados localizam-se nas estradas “camino” del tropero, “camino” Sebastián Rebella, “camino” del Domador e “camino” del leñador (ANEXO I)

FIGURA 1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

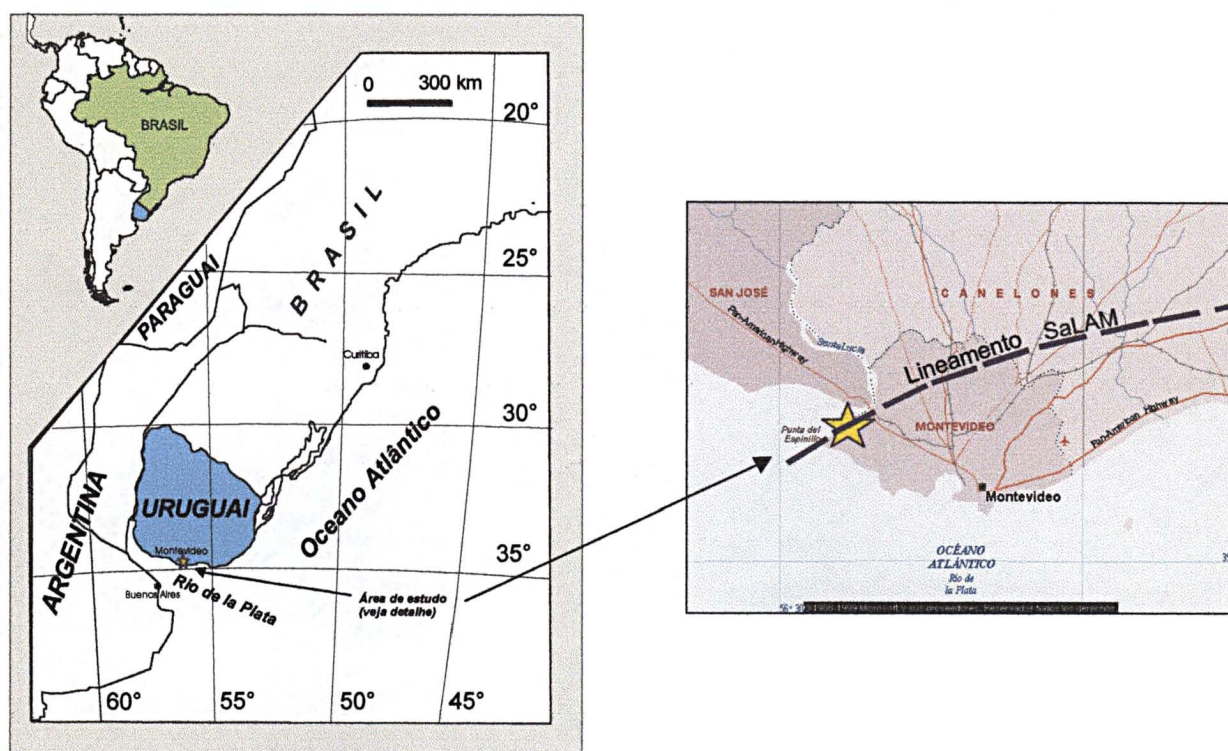


FIGURA 2 ACESSO À ÁREA DE TRABALHO



2.2 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

As áreas urbana e suburbana de Montevideu ocupam o 37% da superfície do departamento. O restante 63% está ocupado por áreas rurais (TODO URUGUAY, 1999).

O decreto 26.986 do Governo Departamental divide a área rural montevidense em dois tipos em função da utilização do solo e dos demais recursos naturais: as de prioridade agrícola e as áreas de paisagem natural protegida (TODO URUGUAY, 1999).

A área de estudo encontra-se dentro das áreas de prioridade agrícola e está em contato com o "Parque Municipal de Punta Espinillo" que é uma área protegida.

Porém, a área ocupa uma mínima parte da terra destinada à atividade agropecuária uruguaia, a área rural tem uma grande importância econômica. A produção agrícola da capital está certamente orientada à horticultura, fruticultura e vitivinicultura, e isto é equivalente quase a 3,3% do produto interno gerado no departamento (IMM, 2001). A comunidade de Punta Espinillo abastece o mercado com 160.000 ton/ano de frutas e hortaliças (TODO URUGUAY, 1999).

Com referência aos dados da Prefeitura Municipal de Montevideu (IMM, 2001), o departamento produz 57% do total da alface que é comercializada no país, 51% da acelga, 43% do aspargo e 14% do tomate. No campo da fruticultura, gera 37% da maçã, 28% do pêssego, 25% da uva de mesa, 12% da uva de vinho e 14% do limão (IMM, 2001).

A superfície média das parcelas agrícolas no país é de 288 hectares. Em Montevideu, as explorações não superam os 10 hectares. Na área de Punta Espinillo não superam os 5 hectares (IMM, 2001).

Nestas parcelas, a atividade econômica é desenvolvida fundamentalmente pelas famílias responsáveis pelo sítio, desde o começo do

século XX, utilizando mão-de-obra familiar como força de produção (TODO URUGUAY, 1999)

Mais do 70% da área de cultivo é irrigada, por tanto a agricultura á dependente da qualidade e quantidade da água, seja na produção ou na aptidão para consumo (IMM, 2001)

Da água utilizada para irrigação em Montevideu, o 69% provem das águas subterrâneas e 31% das reservas superficiais, sendo tanto dos riachos naturais de fluxo livre, como dos riachos naturais represados (açudes) (IMM, 2001)

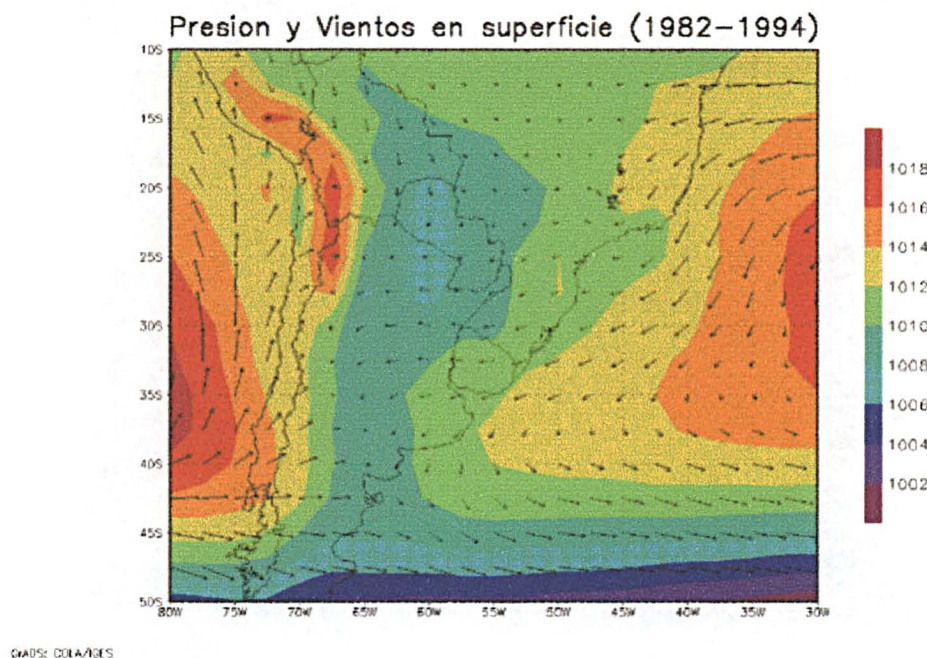
2 3 CLIMA

O território continental uruguaio se encontra dentro da zona temperada. A ausência de sistemas orográficos importantes contribui para que as variações espaciais de temperatura, precipitação e outros parâmetros, sejam pequenas. A temperatura média anual para o país está por volta dos 17°C (METEOROLOGÍA-FCIEN, 2003)

O anticiclone semipermanente do Atlântico (região em cor vermelha na borda direita da FIGURA 3) influencia o desenvolvimento do clima no Uruguai. A circulação horizontal originada, estabelece que a direção dominante do vento seja de NE a E, aportando massas de ar tropical.

O anticiclone do Pacífico, região em cor vermelha na borda esquerda da FIGURA 3, provoca os deslocamentos de ar polar na direção SW. Estas massas de ar podem ser de trajetória marítima em cujo caso transportam abundante umidade nas camadas mais baixas, ou de trajetória continental, as quais têm um conteúdo hídrico menor.

FIGURA 3 - PRESSÃO (CORES) E DIREÇÃO DOS VENTOS (SETAS) NA SUPERFÍCIE ENTRE 1982 E 1994.



Fonte: Meteorologia – Fcién, 2003.

A interação das duas influências somadas, muitas vezes, à presença da baixa pressão, representada pela região em cor celeste no centro da FIGURA 4, localizada ao noroeste argentino, provém do mecanismo básico para a produção de chuvas sobre o país (METEOROLOGIA-FCIEN, 2003).

A temperatura média anual do ar é de 17,5°C, variando desde 20°C no noroeste, até 16°C na costa atlântica. As isotermas têm uma orientação geral de NE para SW, e seus valores decrescem em direção ao sudeste (METEOROLOGIA-FCIEN, 2003).

As temperaturas extremas nos últimos 50 anos apresentam grandes variações que vão desde os 11°C abaixo de zero, no mês de julho, até 44°C no mês de janeiro. (METEOROLOGIA-FCIEN, 2003).

As temperaturas médias mais altas se apresentam nos meses de

janeiro e fevereiro e as médias mais baixas em junho e julho (METEOROLOGIA-FCIEN, 2003)

As precipitações médias anuais têm um valor mínimo no sul sobre a costa do Rio da Prata de 1000 mm, e um valor máximo no nordeste, na fronteira com o Brasil, de 1500 mm

Apesar dessa distribuição de valores médios, as precipitações no Uruguai se caracterizam por sua extremada irregularidade e variabilidade interanual. Têm sido produzidos extensos períodos de secas, como os registrados em 1891-94, 1916-17, 1942-43, 1964-65, 1988-89 e 1999-2000, e também anos com abundantes precipitações como 1914, 1959, 1977, 1983 e 1997-98 (METEOROLOGIA-FCIEN, 2003)

O regime de ventos mais frequente tem direção predominante do setor NE em todo o país. As velocidades médias atingem os 15 Km/h, com uma média máxima nas costas do departamento de Colonia (foz do rio Uruguay no rio da Prata) que alcança os 27 Km/h

A umidade relativa média anual oscila entre o 70% e o 75% em todo o país, o mês mais úmido é julho, com uma média de 80%, e o mais seco é janeiro com uma média de 65%

Porém, entre diferentes pontos do país é possível observar diferenças nos parâmetros climatológicos, sem a magnitude suficiente para distinguir diferentes tipos de clima de acordo com as classificações clássicas como a de Koppen

Todo o território apresenta as seguintes características

- Clima temperado, moderado e chuvoso (temperatura do mês mais frio entre -3° a 18°C) "Tipo C"
- Clima úmido (a chuva é irregular, condições intermediárias entre o "w" e o "s" de Koppen) "Tipo f"
- Variedade específica de temperatura (Temperatura do mês mais cálido superior a 22°C) Tipo "a"

Em base ao exposto, o território continental uruguaio corresponde a Classificação Climática de Koppen "Cfa"

O tipo climático da região de Punta Espinillo, baseado em Thornthwaite, utilizando os dados obtidos na estação climatológica da Dirección Nacional de Meteorología - Prado (lat 34°52' S, long 56°12'W Greenwich, altitude 22m) no período 1961 - 1990 é classificado como B₁B'₂ra', ou seja um clima úmido, mesotérmico, que apresenta pouco ou nenhum déficit em qualquer estação (METEOROLOGÍA-FCIEN, 2003)

2.4 VEGETAÇÃO E HIDROGRAFIA

A cobertura vegetal na área de estudo, em função de sua localização em relação à costa, topografia e tipo de aptidão do solo é constituída principalmente pelos dois tipos a seguir,

-Áreas agrícolas a partir 300 m da costa Predominância de culturas comerciais de ciclo curto (horticultura) e algumas poucas de ciclo longo (fruticultura e vitivinicultura)

-Áreas de bosque a floresta primária foi totalmente substituída por bosque artificiais de eucaliptos e pinheiros

A área pertence à denominada bacia hidrográfica do Rio da Prata,

identificada com a letra C na FIGURA 4, que tem uma superfície de 25 200 Km² (ESCUDE, 1997)

A rede hidrográfica principal está constituída por dois rios de grande porte. Um deles é o rio da Prata que separa o Uruguai da Argentina, se estende por 300 Km e suas águas conformam um estuário salobro. O outro, é o rio Santa Lucía, principal fonte de água doce do Departamento de Montevideu. Os cursos de água menores tratam-se principalmente de arroios e riachos de pequeno porte. O escoamento desses cursos de água menores é no sentido norte, tendo suas desembocaduras no rio Santa Lucía.

A rede de drenagem é controlada pelas feições morfo estruturais da área, e encontra-se vinculada principalmente à tectônica proterozóica, às reativações desta durante o paleozóico e à tectônica cretácea apresentando padrões preferenciais NS e EW, (proterozóicos) e N70E e N70W (cretáceos).

Os arroios e riachos de pequeno porte são influenciados por variações sazonais, chegando a secar em períodos de estiagem.

2.5 SOLOS

Os solos dominantes são aqueles desenvolvidos sobre a Formação Libertad. Correspondem a solos de cor marrom escuro a preto, e dentro desta descrição a *brunsoles éutricos*, que se caracterizam por serem solos moderadamente profundos a profundos, de textura média a pesada (IMM, 2001)

Do ponto de vista da aptidão, 60% da superfície do solo da área rural de Montevideu pode ser classificada como portando solos de aptidão muito alta a moderadamente alta para cultivos agrícolas intensivos (IMM, 2001)

As principais limitantes estão referidas às dificuldades para a penetração radicular e para cultivo agrícola. Estas dificuldades são geradas pelas texturas pesadas, a degradação da estrutura, o encrostamento superficial o excesso de umidade e problemas de drenagem, além do risco de erosão e de seca (IMM, 2001)

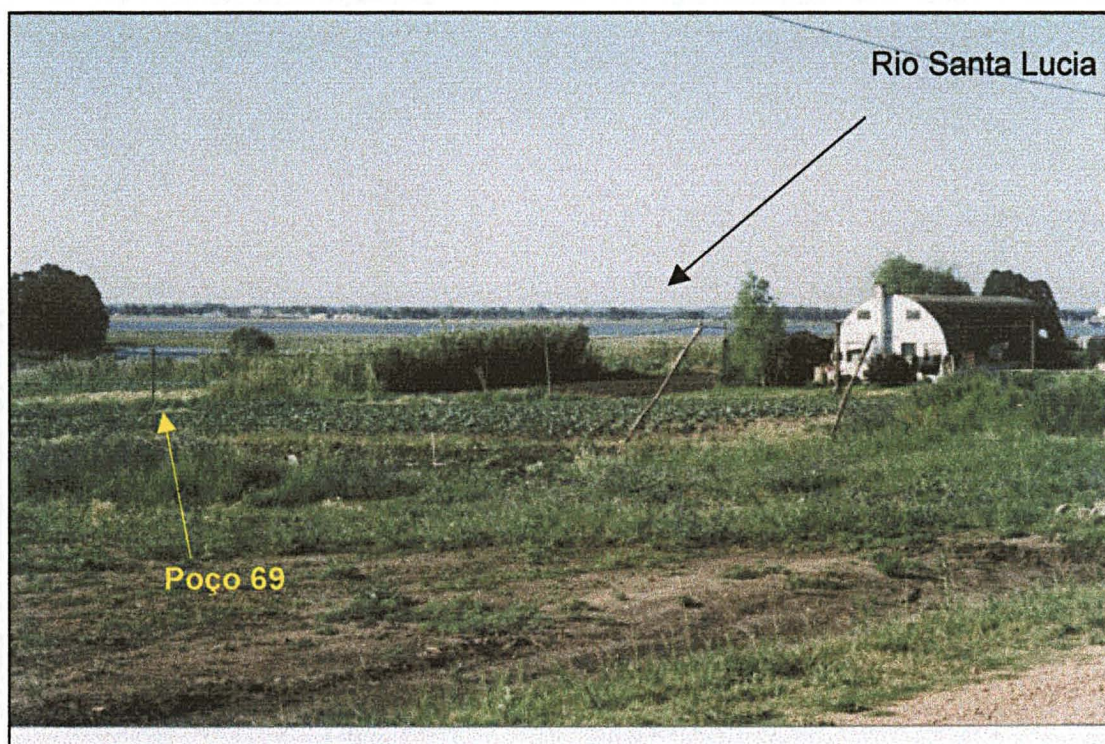
O problema mais geral está relacionado com a degradação da estrutura como consequência da perda da matéria orgânica (IMM, 2001)

Originalmente, estes solos eram muito férteis e produtivos, mas estas características foram alteradas pelo uso intenso ao longo de um século

2.6 GEOMORFOLOGIA

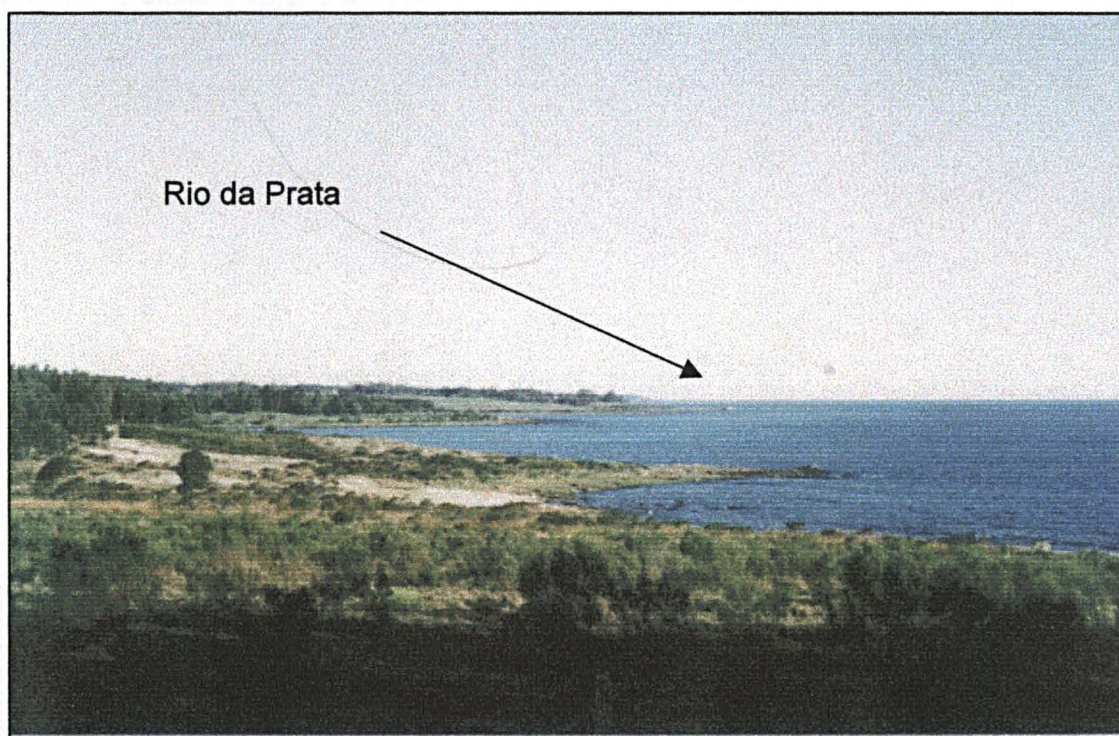
Situada em terrenos antigos, que apresentam idades Rb/Sr de 1990 ± 32 milhões de anos (CINGOLANI *et al*, 1997), a área de estudo caracteriza-se por ter sido afetada por processos erosivos importantes ao longo do tempo, o qual gerou um relevo plano (ESCUDER, 1997). A área oeste de Montevidéu localiza-se na *Llanura Platense* (FIGURA 4) que é muito descontínua e abrange a maior parte da bacia do rio Santa Lucía (ESCUDER, 1997), que faz parte da borda norte e nordeste da área de estudo.

FIGURA 5: SETOR NORDESTE DA ÁREA DE ESTUDO COM O RIO SANTA LUCIA AO FUNDO E O POÇO 69.



Punta Espinillo, pertence à chamada *Costa Platense*; trata-se de uma costa muito irregular, com pontas pedregosas que sobressaem e resguardam arcos arenosos ou praias (ESCUDER, 1997).

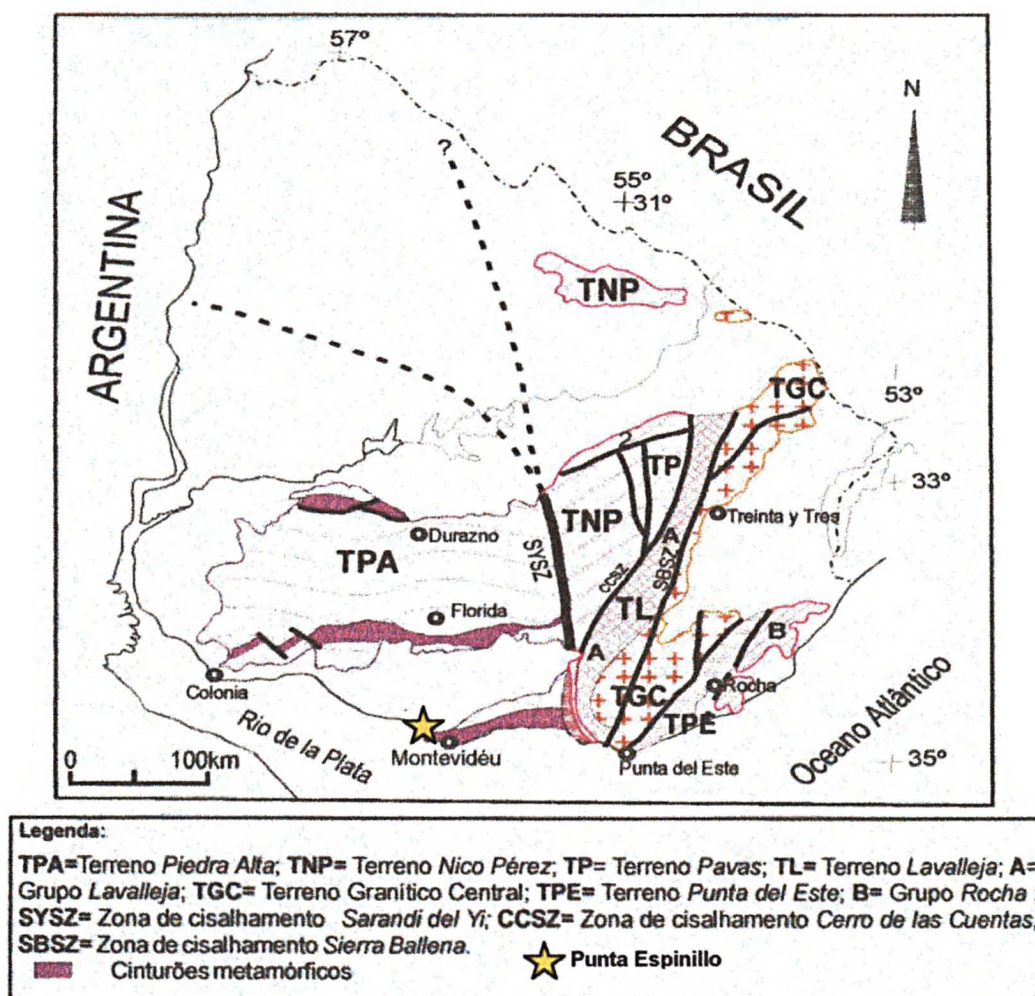
FIGURA 6: BORDA SUDOESTE DA ÁREA DE ESTUDO NA COSTA DO RIO DA PRATA.



2.7 GEOLOGIA

É possível reconhecer dentro do embasamento cristalino, três unidades tectonoestratigráficas maiores de composição geral granítica, afetadas por metamorfismo: os Terrenos ou *Terrains* Piedra Alta, Nico Pérez e Cuchilla Dionísio. Eles estão separados entre si por descontinuidades tectônicas de primeira ordem, as zonas de cisalhamento Sarandi Del Yí e Sierra Ballena. (BOSSI *et al* 1998).

FIGURA 7 PRINCIPAIS UNIDADES GEOTECTÔNICAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO URUGUAIO.



Fonte: Muzio Sauer, 2000 (modificado de Preciozzi *et al*, 1999)

O Terreno Piedra Alta desenvolve-se a oeste da mega transcorrência Sarandí del Yí – Arroio Solis Grande (OYHANTÇABAL *et al*, 1993) e está integrado por cinturões metamórficos de direção leste - oeste, separados por grandes áreas granito gnáissicas (BOSSI *et al*, 1993)

O Terreno Nico Pérez está composto por um grupo de grau metamórfico alto, de possível idade arqueana, que se encontra em contato ao leste com uma sequência metamórfica Grenvilliana de grau médio (CAMPAL & SCHIPILOV, 1997) O conjunto é o embasamento de uma plataforma Vendiano-cambriana, suavemente dobrada no Cambriano médio (GAUCHER *et al*, 1998)

O Terreno Cuchilla Dionísio, é o resultado da acreção de vários blocos de rochas metamórficas de composição diferente, as quais são resultantes de colisões sinistrais com relações internas e idades indeterminadas. Elas estão intrudidas por um magmatismo de idade Neo-proterozóica – Brasileiro (BOSSI *et al*, 1993)

A área de estudo localiza-se no Terreno Piedra Alta. O substrato de Montevideu e sua área metropolitana é formado por rochas ígneas e metamórficas de idade Proterozóica que pertencem ao “Craton del Río de la Plata”, que foi definido por ALMEIDA (1976). Esta denominação substituiu o nome original de “Escudo de la Cuenca del Río de la Plata”, que foi proposto por FERRANDO & FERNÁNDEZ (1971). BOSSI *et al*, (1993) propõem trocar o nome ou termo “Cratón”, devido a suas implicações geotectônicas, e propõem trocá-lo pelo nome de “Terreno Piedra Alta”, levando em consideração a definição de *Terrains* tectono-estratigráficos *sensu* HERVES & MPODOZIS (1991), como entidades geológicas que apresentam uma associação estratigráfica com uma história geológica diferente a aquela dos seus vizinhos.

O Terreno Piedra Alta é um conjunto lito-estrutural que compreende três cinturões metamórficos grosseiramente paralelos de direção E-W, separados por áreas granito – gnaiss. Cada um destes cinturões inclui uma formação metamórfica de origem vulcano-sedimentar e plutões geometricamente associados (BOSSI *et al*, 1998). Estes três Cinturões são

- Cinturão Arroyo Grande
- Cinturão San José
- Cinturão Montevideo

O Cinturão Montevideo é o considerado neste trabalho BOSSI *et al* (1999), sugerem uma nova mudança na estrutura do Terreno Piedra Alta, e em consequência propõem substituir o nome de Cinturão Montevideo pelo de Cinturão Pando, incluindo dentro deste Cinturão a Formação Montevideo e um conjunto de intrusões magmáticas os granitos de Soca, Sosa Días, Tío Diego e os granitos Capurro, La Teja e Malvín descritos por WALTHER (1948) no que hoje é a Cidade de Montevideo. No presente trabalho é obedecida a denominação anterior para evitar confusões com as novas denominações que não geram um aporte significativo à Geologia do Cinturão Montevideo.

Durante o Mesozóico, no Juro-eo-Cretáceo, o Terreno Piedra Alta foi afetado pela fragmentação do Gondwana. A esta etapa de fragmentação associam-se a gênese e abertura das fossas tectônicas do S e SE (Santa Lucía – Minas – Aguá - Lascano - Velázquez e Lagoa Merín), as quais formam parte do Lineamento SaLAM, definido por ROSELLO *et al*, (1999), das bacias marginais do Salado – Punta de Leste e do magmatismo básico, ácido e alcalino do sudeste do país. Nesta etapa acontece a FASE I ou Extensional de SaLAM, de idade Juro–eo-Cretácea, que está representada por magmatismo de intraplaca e pouca sedimentação associada. A FASE II

de SaLAM, ou fase Transtensional Dextral ocorre ao final do Cretáceo inferior, no Aptiano - Albiano. Esta é uma fase pós rift no Gondwana e para as bacias do SaLAM, exceto para a bacia de Santa Lucía (BSL) que ainda se encontra na fase rift. A BSL, que tradicionalmente tem sido considerada como uma bacia extensional pura tipo rift abortado, foi mudada, pois VEROSLAVSKY (1999) relaciona a gênese com os falhamentos normais produzidos por um campo de esforços transtensional dextral, que é a resultante do movimento durante o Mesozóico das zonas de cisalhamento transcorrente pré-cambrianas. Isto é consequência do início da deriva da placa sul-americana para W, a partir do Aptiano.

A bacia de Santa Lucía está em contato com a área de trabalho na borda norte e nordeste. O preenchimento sedimentar desta Bacia aflora parcialmente perto da área de trabalho. Trata-se de sedimentos Cretáceos localizados no Cretáceo Superior Maastrichtiano e correspondem à ex Formação Asencio, definida por BOSSI (1966) cujo nome foi substituído pelo de Formação Mercedes – Asencio, definida por GOSO AGUILAR (1999), em concordância com as relações genéticas das mesmas.

Grande parte das litologias do Terreno Piedra Alta e dos sedimentos Cretáceos da Bacia de Santa Lucía, encontram-se recobertas por sedimentos Cenozóicos, Paleógenos e Neógenos, representados pelas Formações Fray Bentos, Raigón e Chuy, sedimentos de idade Quaternária conformados pelas Formações Libertad, Dolores e Villa Soriano, e sedimentos de Formações Atuais, representados por dunas, fósseis, aluviões e brejos. Afloramentos de sedimentos Cenozóicos observam-se na zona de Santiago Vázquez, Parque Lecoq, Melilla, Paso de la Arena, vizinhanças do Bañado de Carrasco, na foz do Arroio Miguelete, Sayago, Manga, etc., constituindo aproximadamente 60% da área Metropolitana de Montevideo (CARDELLINO & FERRANDO, 1969). A Formação Montevideo na área de estudo, encontra-se recoberta e em contato

discordante com as Formações Raigón, Chuy, Libertad e Formações Atuais (dunas) Não há registro de Formações Mesozóicas aflorantes na área de trabalho A seguir se descrevem as unidades encontradas na área de trabalho em ordem cronológica, no ANEXO II se encontra no mapa geológico da área de trabalho

2 7 1 Proterozóico Inferior

2 7 1 1 Cinturão Montevideo

O Cinturão Montevideo inclui uma Formação composta por litologias vulcano-sedimentares do mesmo nome, metamorfizada em grau medio que apresenta uma serie de plutões com relações geométricas e temporais em relação aos metamorfitos (BOSSI *et al*, 1998) É uma faixa de aproximadamente 30 km de largura, com rumo geral E-NE que vai desde Punta Espinillo no ocidente do Departamento de Montevideu até a localidade de Solís de Mataojo no Departamento de Lavalleja Estão intrudidas no centro - oeste desta área por rochas ígneas ácidas mais modernas O limite norte deste Cinturão de desenvolvimento regional E-NE está determinado por uma associação de milonitos, granitos e pegmatitos com grande abundância de muscovita e granada, definida como Formação Mosquitos (CAMPAL *et al*, 1988)

Os afloramentos das litologias mais típicas como gnaisses, anfíbolitos, mica-xistos e quartzitos são abundantes ao longo da costa do Rio Prata e nos leitos dos arroios e riachos Sua presença diminui em direção ao continente, onde apresentam cobertura vegetal ou mantos de alteração com espessuras variáveis (até 2 m) associados a locais baixos e/ou de atividade tectônica de intensidade variada

Em geral, são rochas de elevada resistência à erosão, gerando paisagens com relevo positivo e ondulado

2 7 1 1 1 Formação Montevideo

Esta unidade foi definida originalmente por BOSSI *et al* (1965) e sua aceção atual é devida a BOSSI *et al* (1993) que caracteriza uma sequência sedimentar e outra de origem vulcânica (BOSSI *et al*, 1998)

2 7 1 1 1 1 Sequência Sedimentar

Esta sequência na Formação Montevideo inclui para-anfibolitos, mica-xistos e para-gnaiss às vezes grafitosos. Ainda associados a esta sequência encontram-se quartzitos a biotita ou muscovita em áreas restritas.

Os gnaisses constituem, na área de estudo, a litologia mais abundante e estensa das pertencentes à Formação Montevideo.

Os para-gnaisses grafitosos possuem texturas grano-lepidoblásticas e estão constituídos por oligoclásio + quartzo + biotita + epidoto ± feldspato potássico + hornblenda ± granada ± grafita. São de granulação fina e alternam-se bandas cinza claro e cinza escuro, chegando excepcionalmente a mica xistos biotíticos. A xistosidade está bem desenvolvida e se associa a pequenos bancos de anfibolitos. Como resultado do crescimento tardio do feldspato potássico sobre o oligoclásio, estes gnaisses transformam-se em corpos granitóides na Praia Malvín, La Teja, e Praia La Colorada.

Os gnaisses afloram na costa do Rio da Prata, nas pontas rochosas

Os anfibolitos são as rochas que em frequência de afloramentos e extensão superficial, seguem em importância aos gnaisses anteriormente

descritos Esta litologia é reconhecida somente no departamento de Montevideu WALTER (1948) foi o primeiro em diferenciar entre *para* e *orto* anfibolitos com base em critérios texturais, mineralógicos e em função da natureza do protólito

Os para-anfibolitos são os resultantes do metamorfismo de rochas sedimentares de granulometria fina (pelitos) Trata-se de rochas xistosas, de granulação média a grossa, textura nematoblástica, compostas por hornblenda e andesina, com abundante esfero como acessório (BOSSI *et al*, 1998) Têm menor resistência ao intemperismo e seus melhores afloramentos ocorrem na costa do Rio de la Plata (Playa del Cerro)

Os mica xistos afloram principalmente na costa SW do Departamento de Montevideu (Playa del Cerro, Frigorífico Nacional, Dique de la Armada) e no oeste do Departamento de Canelones (Colônia Nicolich) Estão compostos por muscovita, biotita, quartzo e granada Em função do mineral dominante classificam-se em mica-xistos a duas micas (biotita e muscovita) ou a muscovita, com granada como acessório principal Um levantamento detalhado feito por SCHIPILOV & GAUCHER (1992) permitiu definir características litológicas e estruturais

- a paragênese consiste em muscovita, biotita, granada almandina, estauroлита, andaluzita, plagioclásio e quartzo, nesta ordem de abundância e com cristais centimétricos de estauroлита e andaluzita

- é reconhecível a superfície de sedimentação original S_0 , a qual responde o bandeamento por composição atual

Uma datação realizada por CINGOLANI *et al*, (1997) sobre estas litologias que afloram no Parque Rodó (Montevideu) forneceu uma idade Rb/Sr de 1990 ± 32 milhões de anos com $R_0 = 0,7008$

São rochas pouco resistentes ao intemperismo, o qual limita suas possibilidades de afloramento Isto permite supor que sua extensão superficial

dentro da área estudada pode ser mais importante do que na área na qual atualmente se conhece sua existência. Por sua vez, durante os processos meteóricos, o manto de alteração que é gerado, contém uma grande proporção de argilas expansivas (esmectitas), minerais muito problemáticos para as possibilidades de circulação da água subterrânea e/ou obras de infraestrutura.

Os quartzitos se desenvolvem fundamentalmente no NE, nas cercanias de Joaquín Suarez, Pando. Trata-se de rochas de grão fino, com quartzo como mineral essencial e biotita ou muscovita, ou ambas micas como mineral acessório mais importante. São muito resistentes à meteorização e determinam naquelas áreas em que predominam, uma topografia elevada. As mesmas não se encontram presentes na área de Punta Espinillo.

2 7 1 1 1 2 Sequência Vulcânica

As litologias nesta sequência incluem orto-gnaisses graníticos e orto-anfibolitos (Bossi et al. 1998).

Os orto-gnaisses graníticos, como foram descritos por CARDELLINO E FERRANDO (1969) apresentam um tamanho de grão médio a grosso, biotíticos e homogêneos, com xistosidade muito mal definida, são compostos por quartzo, oligoclásio a andesina (até An₃₅) e biotita como minerais essenciais, acompanhados de muscovita e zoisita. A presença de microclínio é excepcional e de cristalização tardia, porém WALTHER (1948) nas pedreiras do bairro Euskal Erria, descreve fenômenos de granitização.

Os orto-anfibolitos derivados do metamorfismo de rochas efusivas básicas são de textura maciça e de grão fino, com restos de augita dos basaltos originais. Domina a textura nefrítica com fibras entrecruzadas de

esmaragdito e hornblenda, entre as quais se desenvolvem cristais de andesina (BOSSI *et al*, 1998) Consequentemente com isto, têm uma grande resistência ao intemperismo, tal como está demonstrado pelas duas elevações mais importantes da área como o “Cerro de Montevideo” e o “Cerrito de la Victoria”

As rochas das sequências sedimentar e vulcânica formam dobras com eixos predominantemente horizontais Na situação mais típica, as diferentes litologias são concordantes do ponto de vista estrutural, porém podem aparecer discordâncias entre gnaisses e anfibolitos como resultado do metamorfismo de veios doleríticos recortando a pilha sedimentar primitiva (BOSSI *et al*, 1998)

Existe um intenso recorte das litologias por uma grande quantidade de veios que é uma particularidade quase constante em toda a área onde se desenvolve a Formação Montevideo Trata-se de veios de potência variável entre os 0,10 m a mais de 15 m descritos como pegmatitos com aplitos associados, compostos principalmente por feldspatos potássicos, quartzo e biotita, sendo muscovita e turmalina os minerais acessórios Afloram em Punta Carretas, Playa La Colorada, Punta Espinillo, Playa del Cerro (SE), Dique Nacional de la Armada, Parque Rodó, Pajas Blancas e Punta del Descanso (Malvín) Estruturalmente, seu rumo varia entre N30E a N45E com mergulhos de baixo ângulo

A existência desta intensa atividade de veios merece ser mencionada em virtude de sua particular textura e peculiar composição mineralógica, parâmetros que, associados à tectônica sofrida por estas litologias, convertem-nas em zonas altamente favoráveis para a circulação e acumulação preferencial da água subterrânea no domínio da Formação Montevideo

2 7 2 Cenozóico

A estratigrafia dos depósitos sedimentares Cenozóicos, embora seja uma das primeiras a ter-se começado a estudar, continua gerando dúvidas, basicamente, pela qualidade e extensão, tanto dos fenômenos envolvidos, como dos afloramentos das distintas unidades. Isto é agravado e refletido pela complexidade na nomenclatura utilizada para várias das unidades, muitas vezes locais, assim como pela mistura de critérios lito, bio, crono estratigráficos e geomorfológicos (BOSSI *et al*, 1998). Na área de trabalho encontram-se representadas quatro unidades, as quais se descrevem a seguir.

2 7 2 1 Formação Raigón (Pleistoceno)

Esta unidade litoestratigráfica foi definida por GOSO (1965) no departamento de San José na localidade que lhe dá o nome e foi publicada por BOSSI (1966). É nesse departamento que apresenta suas maiores espessuras e expressão superficial. Na área metropolitana de Montevidéu, seu desenvolvimento está limitado ao preenchimento de paleo-depressões de origem tectônica ou erosiva. Tal deposição está governada pelas flutuações do nível do mar. Seu desenvolvimento vertical é limitado por espessuras que não superam os 30 m (BOSSI *et al*, 1998). Dispõe-se em discordância sobre distintas litologias do Terreno Piedra Alta ou das Formações Fray Bentos e Camacho. É recoberta discordantemente pela Formação Libertad. O perfil tipo original nos arredores da localidade homônima desapareceu, pelo qual considera-se necessária sua redefinição nas barrancas do balneário Kiyú, onde afloram a base e o topo da Formação. As litologias mais características existentes na área podem ser definidas como arenitos médios a finos, com

níveis lenticulares de conglomerados sub arredondados, em geral quartzosos, com matriz argilosa, moderadamente friáveis de cores ocre a pardo vermelhadas

Na base encontram-se argilas verdes, originadas num ambiente redutor

PÉREZ (1990) assinala que a Formação Raigón forma parte de um sistema fluvial entrelaçado de alto regime de fluxo, no qual as pelitos representam a sedimentação de baixa energia em canais abandonados

Os afloramentos desta formação, na área de estudo encontram-se restritos à área nordeste, nas vizinhanças dos poços 65 e 69, perto da ponte de Santiago Vázquez e no Parque Lecoq

Com referência ao seu comportamento hidrogeológico e a unidade sedimentar que tem a melhor resposta a respeito da circulação da água subterrânea. A limitação de sua capacidade de armazenamento, na área de estudo, está relacionada com sua pouca extensão superficial

Os valores relativos à velocidade de infiltração desta formação para a área estudada variam substancialmente em função do tipo litológico considerado

- argilas verdes da base	0 a 2 mm/h
- arenitos argilosos	2 a 6 mm/h
- arenitos e conglomerados cimentados	20 a 30 mm/h

2 7 2 2 Formação Chuy (Pleistoceno)

BOSSI *et al*, (1998) propõem apontar com o nome de Formação Barra del Chuy, aos sedimentos mapeados como Formação Chuy por ELIZALDE (1976) e que correspondem, pelo menos parcialmente às denominações de Paso del Puerto (BOSSI *et al*, 1975) e Chuy (GOSO & ANTÓN, 1974)

Trata-se de sedimentos arenosos que formam o terraço mais antigo existente ao E do Río Santa Lucía e que se expõem em Rincón de la Bolsa. Têm pouco desenvolvimento superficial dentro da área de estudo. As litologias mais comuns são arenitos médios a grossos com estratificação paralela, quartzo feldspáticos e de grãos arredondados intercaladas com arenitos finos friáveis de cor branca e na base, pelitos arenosos e arenitos argilosos de cores verdes.

2 7 2 3 Formação Libertad

Foi definida por GOSO (1965) para denominar parte dos sedimentos anteriormente chamados *Pampeanos* por JONES (1956) e CAORSI & GOÑI (1958). Desenvolve-se em forma discordante no sul, por cima das diferentes litologias do Terreno Piedra Alta e das Formações Fray Bentos, Raigón e Chuy. Ocupa uma extensão considerável nos departamentos do SW desaparecendo gradualmente em direção ao N.

É a sequência sedimentar de maior desenvolvimento dentro da área metropolitana de Montevideu, onde ocupa 60 a 70% da superfície e encontra-se entre as cotas 20 e 40 m. São rochas pelíticas bem selecionadas (siltito) e mal selecionadas (diamictitos). Os diamictitos são heterolíticos, dispondo-se os seixos dispersos numa matriz siltito-argilosa. Outro elemento constante na

composição desta unidade é o carbonato de cálcio que se apresenta de diversas formas

- como concreções irregulares de relativa dureza (calcretes)
- como um pó branco muito fino em formas nodulares nos diamictitos
- como preenchimento de fissuras planares ou subhorizontais

Quase não apresentam coesão, pelo qual se erodem facilmente gerando voçorocas ou desaparecendo totalmente nas ladeiras baixas a cotas inferiores a 10 m

Esta formação possui uma espessura variável, alcançando um máximo de 15 m. Aflora na área de trabalho, apresentando-se como *loess*, ou pelitos de cor pardo a pardo avermelhado. Possuem uma baixa percentagem de areia grossa (1%), constituída por grãos subangulosos. É comum a presença de carbonato de cálcio na forma laminar horizontal, produto de um antigo nível freático dessecado.

Um ponto de destaque constitui a formação de solos. Esta litologia gera solos bem desenvolvidos, com um horizonte orgânico A de 0,60 a 1 m de espessura apoiado sobre um horizonte B textural, argilúvico, com argilas expansivas, impermeável para condições de disponibilidade hídrica. A estrutura deste solo determina a dinâmica da infiltração profunda, anulando-a nos períodos de chuva e aumentando na época de seca pelo fraturamento do solo.

Desde a ótica hidrogeológica constitui um reservatório de água muito pobre por sua baixa permeabilidade, porém existe acumulação de água freática. Valores da velocidade de infiltração da água desta formação indicam que a mesma é muito baixa, menor do que 6 mm/hora.

2 7 2 4 Atual

É constituído por dunas, aluviões e areias costeiras

As dunas se desenvolvem em direção ao continente na costa do Rio da Prata, estão constituídas por areias finas bem seleccionadas arredondadas, quartzosas, com estratificação cruzada, de cor branca. Tem um alto coeficiente de infiltração, superior a 50 mm/hora (BOSSI *et al*, 1998)

As aluviões são sedimentos originados pelo arraste do escorregamento superficial, transportados pelos arroios e riachos e depositados nas suas margens. Em geral estão localizados abaixo da cota de 10 m e em alguns lugares abaixo da cota de 5 m. A textura dominante é siltico-argilosa com presença de matéria orgânica, produto da erosão de solos e outros materiais pré-existentes principalmente da Formação Libertad. Trata-se de sedimentos friáveis e geralmente se apresentam saturados de água. O valor da infiltração é muito baixo, entre 0 e 6 mm/hora (BOSSI *et al*, 1998)

As areias costeiras se desenvolvem na costa e praias do Río de la Plata. Estão constituídas por areias médias a finas arredondadas quartzosas com estratificação cruzada, de cor branca. Esporadicamente são observados estratos milimétricos de cor escura devido à concentração de minerais densos. São materiais facilmente desagregáveis com um alto coeficiente de infiltração, maior a 50 mm /hora (BOSSI *et al*, 1998)

2 8 HIDROGEOLOGIA

Na maioria da área, a água subterrânea é armazenada principalmente pelas fraturas. Os níveis alterados são de pouca espessura, não mais de cinco metros, sem importância hidrogeológica (STAFF *et al*, 2001). Nestas regiões, as estruturas de drenagem se localizam geralmente ao longo de sistemas de fraturas. A acumulação e circulação das águas subterrâneas na

área de Punta Espinillo desenvolve-se num sistema geológico descontínuo formado por rochas metamórficas grau baixo a médio (mica xistos, quartzitos, anfibolitos e gnaisses) As fraturas portadoras são do tipo tensional, com direções preferenciais N-S e E-W As rochas gnáissicas apresentam maior densidade de fraturas e porosidade efetiva, e com a melhor capacidade de armazenamento (MONTAÑO *et al*, 2000, 2001, e STAFF *et al*, 2001)

Devido ao fato da maior parte do embasamento cristalino estar recoberto por sedimentos de baixa permeabilidade (Formação Libertad), a recarga acontece principalmente pela infiltração dos arroios e riachos nas fraturas (MONTAÑO *et al*, 2000, 2001)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 HIDROQUÍMICA

Os minerais e as rochas da crosta constituem a principal fonte da carga dissolvida nos sistemas aquáticos. A solubilidade e a taxa de dissolução de minerais é influenciada por diferentes fatores, tais como pureza e tamanho dos cristais, textura e porosidade da rocha, estrutura regional, grau de fraturamento, tempo de contato e temperatura da água (HEM, 1970).

A geoquímica das águas naturais é controlada por processos climáticos, geológicos, geomorfológicos, biológicos e antrópicos. Destes, o mais importante é o clima, responsável pelos processos de distribuição de precipitações e subsequente alteração das rochas e formação de solos. Além disso, os padrões climáticos tendem a produzir comunidades específicas de plantas e caracterizar a composição da água que drena uma região (HEM, 1970, ANGINO, 1983).

A decomposição química dos minerais das rochas se caracteriza por envolver reações simples como, ionização, adição de água e dióxido de carbono, hidrólise e oxidação. Tais reações são extremamente lentas, incompletas e muitas vezes irreversíveis e estão relacionadas a fatores ambientais que influenciam a taxa e o sentido de cada reação. A água acelera os processos químicos, pois facilita por sua própria natureza, o contato com a

superfície do sólido e mantém em solução ácidos como H_2CO_3 e HNO_3 , formados por ação microbiológica durante a decomposição da matéria orgânica no solo. Esses compostos acidificam a água de percolação, aumentando a capacidade de dissolução dos minerais das rochas. Essas reações dependem ainda da concentração dos íons, do raio iônico, das propriedades dielétricas do meio, da temperatura, pressão e pH e ocorrem nas interfaces sólido-líquido, podendo ser de dois tipos (HEM, 1970, KRAUSKOPF, 1972, ANGINO, 1983)

- 1 reações cujas relações de energia são favoráveis ao equilíbrio químico. Dividem-se em três categorias:
 - 1 a reações de solução e deposição reversíveis, nas quais a água não sofre alteração química. Envolvem substâncias cristalinas, gases, compostos orgânicos, espécies ou complexos aquosos, reações de troca iônica, sorção e desorção,
 - 1 b reações reversíveis de solução e deposição, nas quais a molécula da água é quebrada em H^+ e OH^- ,
 - 1 c reações reversíveis de solução e deposição, que envolvem mudanças no estado de oxidação do íon dissolvido
- 2 reações pouco ou não reversíveis nas condições em que ocorreram. As barreiras para reverter essas reações resultam da necessidade de catalisadores ou de fornecimento de energia

3 1 1 Análises físico-químicas

O estudo da procedência das águas, o equilíbrio termodinâmico entre os minerais e a água, bem como a classificação da água quanto ao seu conteúdo iônico, dependem de análises físico-químicas que representem fielmente a composição da água no seu estado atual. Os procedimentos de coleta e análise das amostras estão descritos a seguir.

3 1 1 1 Método de amostragem

As amostras de água foram coletadas na boca do poço ou o mais próximo possível da boca do poço, em garrafas de polietileno de 2,5 litros, previamente lavados com água destilada no laboratório. No momento de coleta, a garrafa era enxaguada com água do poço duas vezes e cheia completamente, evitando-se a presença de bolhas de ar no interior da garrafa. Não se fez nem acidificação nem filtragem de amostras no campo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e transportadas, no mesmo dia, para o Laboratório de Higiene Ambiental da Intendência Municipal de Montevideu (Prefeitura), onde eram mantidas refrigeradas a 4 °C. As análises físico-químicas foram iniciadas num intervalo de tempo não superior a 48 horas, com relação ao momento de coleta.

As medidas de pH, temperatura e condutância específica da água foram feitas no laboratório, utilizando-se um condutivímetro modelo YSI MODEL 33 e um pH-metro ORION modelo 420 A. Esses aparelhos, têm

precisão de medidas, especificadas pelos fabricantes de $\pm 0,5\%$ para condutância específica $\pm 0,1$ °C para temperatura e $\pm 0,01$ unidades de pH

3 1 1 2 Parâmetros analisados e procedimentos analíticos

As substâncias dissolvidas na água estão na forma de íons simples ou de associações iônicas (complexos) As concentrações totais dessas espécies e dos parâmetros físicos e organolépticos foram determinadas conforme descrito na TABELA 1

TABELA 1- PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS ANALÍTICOS

Parâmetro	Método analítico*
Alcalinidade total	Titulometria 2320B
Bicarbonatos	Titulometria 2320B
Calcio	Titulometria 2340C
Cloretos	Titulometria –Nitrato de mercurio 4500-Cl-C
Condutância específica	Conduvímetero laboratório 2510B
Cor	colorímetro
Dureza total	Titulometria 2340C
Magnésio	Titulometria 2340C
Nitratos	Espectrofotometria UV 4500-NO3-B
Nitritos	Espectrofotometria UV 4500-NO2-B
PH	pH-metro 4500-H+
Potássio	Fotometria de Chama
Sódio	Fotometria de Chama
Sulfato	Turbidimetria 4500-SO4-E
Temperatura	termômetro
Turbidez	Nefelometria 2130B

*Os números depois do método indicam a técnica de referência de GREENBERG *et al*, 1998 *Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA AWWA WEF) 20th Edition*

Sulfato

São sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO_4) e os de bário (BaSO_4). Em água doce o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a 1 500 mg/L e pode chegar até 7 200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{2-} , porém em geral é estável. Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (HEM, 1970). Podem ser consideradas, ainda, como fontes de sulfatos, nas águas naturais, os efluentes industriais e as chuvas ácidas (HINDI, 1999).

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de sulfatos inferiores a 100 mg/L, principalmente na forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- . Segundo HEM (1985), este último predomina nas águas muito ácidas ($\text{pH} < 2$), devido à dissociação incompleta do ácido sulfúrico.

A água do oceano Atlântico apresenta, em média, 2 810 mg/L de sulfatos.

As águas subterrâneas com excesso de sulfato (> 400 mg/L) podem causar efeitos laxativos (BATALHA & PARLATORE, 1977) e na presença de íons de magnésio e sódio pode provocar distúrbios gastrointestinais. O sulfato ferroso é de alta periculosidade se consumido na forma pura, podendo ser fatal se ingerido por crianças em quantidades superiores a 7,8 g. O sulfato aumenta a salinidade dos solos.

Carbonato, Bicarbonato e pH

O dióxido de carbono dissolvido naturalmente na água aparece nas análises químicas, principalmente, na forma dos íons carbonatos e bicarbonatos. A ocorrência de H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} está relacionada ao pH da seguinte maneira (CUSTODIO & LLAMAS 1983, FREEZE & CHERRY, 1979, FETTER, 1994)

$\text{pH} < 4,5$ H_2CO_3

$4,5 < \text{pH} < 8,3$ Bicarbonato + H_2CO_3

$8,3 < \text{pH} < 12,6$ Bicarbonato + Carbonato

$\text{pH} > 12,6$ Carbonato

Este íon não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). Varia entre 50 e 350 mg/L em águas doces, podendo chegar a 800 mg/L. A água do mar possui teores da ordem de 100 mg/L. É benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio.

Nitrato e Nitrito

O nitrogênio é um elemento essencial para todos os tipos de vida e, na forma de nitrato dissolvido é um macronutriente para os vegetais. Alguns tipos de bactérias podem retirar nitrogênio da atmosfera e fixá-lo no solo, na forma de nitrato. As plantas retiram nitratos do solo, que são devolvidos ao solo, em parte, quando a planta morre. Perdas de nitrato nesse ciclo ocorrem por lixiviação ou escoamento superficial, aparecendo nas águas subterrâneas e nos rios. A oxidação e redução das espécies aquosas de nitrogênio estão

intimamente ligadas à atividade biológica. Por oxidação, as espécies reduzidas de N podem se converter em gás N_2 , ou em nitrito NO_2^- e, finalmente, em nitrato NO_3^{2-} (HEM, 1970)

As fontes de nitrato e nitrito nas águas naturais são similares. São componentes indesejáveis na água, podendo indicar contaminação antrópica causada por efluentes domésticos, industriais ou fertilizantes. Fazendas de criação de animais podem produzir quantidades consideráveis de rejeitos orgânicos nitrogenados, concentrados nos locais de confinamento de animais, que causam a contaminação do aquífero freático pela lixiviação, por água de chuva, desses rejeitos orgânicos. O uso de adubo orgânico e a prática rotineira de irrigação são atividades capazes de enriquecer o teor de nitratos da água subterrânea (HEM, 1970)

Teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados e resíduos de animais)

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato na forma de nitrogênio no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1000 mg/L. A água do mar possui em torno de 1 mg/L

Altas concentrações de nitrato podem produzir intoxicação em criança ou até levá-la à morte por metahemoglobinemia (cianose) em casos extremos. O nitrato também tem ação na produção de nitrosaminas no estômago do homem, substâncias essas conhecidas como carcinógenas. HILL *et al*, (1973) mostraram correlações positivas entre câncer gástrico e populações que ingeriam águas com altas taxas de nitrato

É prejudicial à saúde humana, porém trata-se de um composto favorável para a agricultura

Cloreto

Está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces. O cloreto, em geral associado com o sódio, é muito solúvel e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita. Não oxida e nem se reduz em águas naturais.

É proveniente da lixiviação de minerais ferromagnesianos de rochas ígneas e de rochas evaporíticas tal como o sal-gema. As rochas ígneas são pobres em cloretos. A ocorrência desse íon na água está associada a intrusões salinas em zonas costeiras, passagem da água por rochas sedimentares formadas em ambiente marinho ainda não totalmente isentas do sal retido durante a diagênese, infiltração de água e lixiviação de solos em ambientes de clima árido, solubilização de depósitos de halita ou outros evaporitos, além de aerossóis do *spray* marinho. As fontes antrópicas são os efluentes domésticos e industriais (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000).

A alta solubilidade e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100 mg/L. Já nas águas dos mares são abundantes com valores entre 18 000 e 21 000 mg/L, podendo chegar a 220 000 mg/L nas salmouras naturais (saturação).

O cloreto é um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões. Altas quantidades de cloretos são tóxicos para a maioria dos vegetais, inibindo o seu crescimento.

Potássio e Sódio

Apesar do potássio e do sódio pertencerem ao mesmo grupo dos metais alcalinos, seus comportamentos nos processos de solubilização são diferentes

O potássio é o sexto colocado na escala de abundância dos metais nas rochas ígneas. Ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido a sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais

Ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Altas concentrações de potássio podem ser encontradas nos minerais de carnalita e silvinita, em evaporitos

Nas águas meteóricas os teores de potássio estão geralmente no intervalo de 0,1 a 4 mg/L, enquanto as águas do oceano Atlântico apresentam, em média, 400 mg/L

Os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L

O potássio é muito importante para o desenvolvimento dos vegetais e é comumente adicionado ao solo como fertilizante

A quantidade de potássio na crosta é aproximadamente igual à do sódio, mas em águas naturais, a quantidade de potássio é muito baixa comparada com a de sódio. Isto é explicado porque enquanto o sódio tende a ficar em solução desde que foi liberado da estrutura mineral, o potássio é liberado com mais dificuldade, além de ter a tendência de ser reincorporado na estrutura dos minerais de argila (HEM, 1970)

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Está presente em todas as águas, predominando em

algumas, devido as suas características como

- distribuição ampla nos minerais-fonte,
- baixa estabilidade química dos minerais que o contém,
- solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução

Ocorre principalmente sob a forma de cloretos nas águas subterrâneas e seus minerais-fonte em rochas ígneas são essencialmente os feldspatos plagioclásios, feldspatóides (nefelina e sodalita), anfibólios e piroxênios

O sódio é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Há, em geral, um aumento gradativo dos teores de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções mais confinadas ou dos seus exutórios

A concentração do sódio varia, em geral, entre 0,1 e 100 mg/L nas águas subterrâneas e entre 1 e 150 mg/L em águas naturais doces, atingindo 11 100 mg/L nas águas do oceano Atlântico, em média, e podendo chegar a 100 000 mg/L nas salmouras naturais

As águas naturais com elevados teores de sódio geralmente possuem elevadas concentrações de F^-

As águas com concentrações elevadas de sódio são prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo, sendo especialmente nocivas quando as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} são baixas (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000)

3 1 1 3 Relações iônicas características

A relação entre as concentrações expressas em meq/L, de certos íons dissolvidos, fornece informações sobre a constituição do aquífero, forma de recarga, fluxo das águas subterrâneas assim como da procedência das águas ou misturas com águas marinhas. As relações ou índices geoquímicos aplicados neste trabalho foram rMg^+/rCa^+ , rK^+/rNa^+ , $rCl^-/rHCO_3^-$ e a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), embora outras relações iônicas possam ser estabelecidas de acordo com as peculiaridades do aquífero estudado (SCHOELLER, 1962, CASTANY, 1975, CUSTODIO & LLAMAS, 1983, FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000)

A variação dos valores dessas relações permite avaliar as mudanças na composição química das águas subterrâneas, devido a mudanças litológicas ou processos modificadores da composição da água

Para as águas oriundas de um aquífero fissurado costeiro com suspeitas de intrusão marinha, destaca-se a relação $rCl^-/rHCO_3^-$, a qual é tratada em detalhe no capítulo 4, sessão 4 1 4 2

3 1 2 Estatística Descritiva

A estatística é uma ferramenta que permite avaliar dados multi-temporais e multi-espaciais e assim visualizar a existência de possíveis relações entre variáveis, que de outra forma, seriam muito difíceis de identificar. Outras aplicações da estatística e maior desenvolvimento do tema podem ser encontradas em STATSOFT, INC (1995) e KITANIDIS (1999)

Neste trabalho foi utilizada a análise estatística de agrupamentos (*clusters analysis*) para determinar se existia alguma tendência entre os poços

e as variáveis

O termo *cluster analysis* se refere à análise de agrupamentos de um grande numero de variáveis observadas ou dados. É uma metodologia que permite organizar dados observados em estruturas transcendentais.

O objetivo da análise é relacionar objetos em agrupamentos utilizando uma medida ou padrão de similaridade ou uma distância. O resultado típico é uma árvore hierárquica na qual são representados os objetos (dados) versus a distância de conexão. Cada nó de conexão no gráfico representa um novo agrupamento, segundo um critério determinado de distâncias. Se os dados são claros, em termos de similaridade, a estrutura da árvore apresenta galhos distintos facilmente reconhecíveis.

No começo, quando cada objeto representa seu próprio grupo, as distâncias entre esses objetos ficam definidas pela distância de medida escolhida. Porém, uma vez que muitos objetos têm se unido, se faz necessário determinar uma regra para avaliar as distâncias entre os novos grupos ou seja, para determinar quando dois grupos são suficientemente similares para ser unidos juntos. Neste trabalho a regra utilizada foi o método das Distâncias Euclidianas, ou seja, a distância geométrica no espaço multidimensional. Esta distância é expressa como

$$dist(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2}$$

Tomando como exemplo o espaço bidimensional ($i=2$), a distância entre A e B fica representada como

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

Mas, estas distâncias euclidianas determinadas, têm que ser ligadas ou unidas entre elas baseadas numa regra de união ou *Linkage*

Neste trabalho foi utilizada a *Complete Linkage*, regra pela qual, a distância entre agrupamentos está determinada pela maior distância entre dois objetos localizados em diferentes agrupamentos. O software utilizado foi o *Statistica* (STATSOFT, INC 1995)

3.1.3 Diagramas geoquímicos e classificação geoquímica da água

A classificação de águas subterrâneas procura informar, de forma breve, a composição química. As classificações podem ser simples ou geoquímicas. As classificações simples dão uma informação global com vistas a seu uso doméstico, urbano, industrial ou agrícola.

As classificações geoquímicas apresentadas em forma numérica ou gráfica, contêm informações de carácter geoquímico e procuram expressar de forma concisa os dados hidroquímicos através de agrupamentos de ânions e cátions predominantes, expressos de forma absoluta ou em porcentagens de miliequivalentes ou de processos de troca de bases. Podem ser citados como exemplos de classificações geoquímicas, as de Stiff, Schoeller e Piper entre outras.

A classificação geoquímica das águas dos poços estudados neste trabalho leva em conta a importância dos ânions e cátions e está descrita a seguir.

3.1.2.1 Classificação segundo a importância dos ânions e cátions

A classificação e denominação da água são definidas pelo cátion ou ânion dominante. Se nenhum cátion ou ânion corresponder a mais de 50% da soma dos cátions ou ânions, dá-se o nome dos mais abundantes, com o nome dos ânions, precedendo o nome dos cátions. As relações entre ânions são referenciadas com algarismos e entre cátions com letras. Os tipos possíveis estão apresentados na TABELA 2, que combinados entre si fornecem um total de 36 classes de Água (SCHOELLER, 1962, CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983)

TABELA 2 CLASSIFICAÇÃO PELA IMPORTÂNCIA DE ÂNIONS E CÁTIONS

Tipo	Ânions	Tipo	Cátions
1	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	A	$rNa^+ > rMg^{+2} > rCa^{+2}$
2	$rCl > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$	B	$rNa^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$
3	$rSO_4^{2-} > rCl > rHCO_3^-$	C	$rMg^{+2} > rNa^+ > rCa^{+2}$
4	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl$	D	$rMg^{+2} > rCa^{+2} > rNa^+$
5	$rHCO_3^- > rCl > rSO_4^{2-}$	E	$rCa^{+2} > rNa^+ > rMg^{+2}$
6	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl$	F	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > rNa^+$

Fonte: SCHOELLER (1962)

Quando há interesse em ressaltar a mineralização total da água, é possível acrescentar uma escala de condutância específica à classificação por íons dominantes, conforme sugerido por CUSTÓDIO & LLAMAS (1983) e apresentada na TABELA 3

TABELA 3- CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A CONDUTÂNCIA ESPECÍFICA (K)

Classe	K ($\mu S/cm$ a 25°C)
C-1	0 a 250
C-2	250 a 750
C-3	750 a 2250
C-4	acima de 2250

Fonte: CUSTÓDIO & LLAMAS (1983)

3.1.2.2 Representação gráfica de dados hidroquímicos

A representação gráfica de dados hidroquímicos permite a avaliação, interpretação e comparação dos processos envolvidos na evolução química da água, a partir de amostras de um mesmo ponto, coletadas em épocas diferentes ou, de amostras coletadas em vários locais. Os principais tipos de diagramas hidroquímicos são os colunares, os circulares e de setores, os poligonais e radiais, os de colunas verticais aritméticas e logarítmicas, os triangulares, os gráficos x-y, e os mapas hidrogeoquímicos, cujas aplicações e modo de construção são encontrados em SCHOELLER (1962), CUSTODIO & LLAMAS (1983), LLOYD & HEATHCOTE (1985) e FEITOSA & MANOEL FILHO (2000).

Para a classificação geoquímica da água foi aplicado o diagrama triangular múltiplo criado por PIPER (1945), baseado na abundância relativa dos íons mais comuns nas águas naturais. Esse diagrama, para este trabalho, permite relacionar 7 variáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , e HCO_3^-), em dois campos triangulares, um para cátions e outro para ânions, onde são lançados valores percentuais relacionados ao total de cátions e ânions ($\sum \text{cátions} = 100\%$ e $\sum \text{ânions} = 100\%$). Os dois pontos gerados são projetados no losango central para mostrar, através de um único ponto, o caráter químico geral da água, de acordo com as concentrações relativas de seus íons maiores expressas em miliequivalentes/L. O software utilizado foi o *demo* do *Aquachem* da WATELOO HIDROGEOLOGICS.

Foram utilizados também, gráficos X-Y, que são gráficos de dispersão, que mostram as relações entre íons e também entre íons e determinadas propriedades físicas como, a condutância específica. Para várias amostras de um único ponto ou de pontos distintos, pode-se observar, pela nuvem de pontos, se existem correlações entre as variáveis, variações temporais ou agrupamentos distintos, indicando classes diferentes de água.

3 2 HIDROGEOLOGIA

3 2 1 Cadastramento dos Poços

Para o cadastramento dos poços se utilizou equipamento básico de mapeamento como mapas geológicos, cartas plani-altimétricas, fotografias aéreas, GPS e bússola

3 2 1 1 Nomenclatura

Os poços têm a denominação imposta por PRENADER no momento da assinatura do contrato para a realização da perfuração. A mesma corresponde a uma sequência de letras e números que identifica departamento, local e empresa que fez a perfuração e o poço. Para simplificar a representação gráfica dos poços, se utilizou somente o número, que é parte da identificação do poço. No ANEXO III, na planilha de dados hidráulicos se encontram os poços com as duas identificações.

3 2 2 Natureza do fluxo subterrâneo e caráter litológico

Num aquífero fissurado a água circula quase exclusivamente por fraturas ou descontinuidades das rochas, isto é chamado de porosidade secundária. Por este motivo é necessária uma análise estrutural do sistema de fraturamento para determinar as direções dominantes das fraturas, seu tipo e sua idade relativa.

Somado ao anterior, tem que se determinar dentro da geologia da área de trabalho quais são as litologias que formam o aquífero, com o objetivo de definir rochas fraturadas com maior ou menor permeabilidade e assim

determinar áreas de maior ou menor transmissividade

Para determinar as direções do fluxo é necessário ter dados de potenciométrica da área e com eles gerar mapas de curvas potenciométricas. Os métodos de construção e interpretação das curvas podem ser encontrados em CUSTODIO & LLAMAS (1983).

Por outro lado, levando em conta que não é possível aplicar as metodologias tradicionais de análise potenciométrica a um aquífero fissurado, foram geradas curvas potenciométricas virtuais, as quais são produzidas da mesma maneira que as tradicionais, só que devem ser sobrepostas ao mapa estrutural e interpretadas junto com ele.

Para isto foram medidos, quando a situação do poço o permitiu, os níveis estáticos nas diferentes estações de amostragem. Os dados de nível dinâmico foram tomados da base de dados do PRENADER, que se encontram na planilha de dados hidráulicos no ANEXO III.

3.2.3 Classificação quanto a propriedades físicas e químicas

Existem na literatura muitos tipos de classificações com base em propriedades químicas, como a temperatura, mas neste trabalho somente foram utilizadas aquelas que pelas características do aquífero, são representativas do sistema e que podem ajudar na interpretação.

3.2.3.1 Sólidos totais dissolvidos (STD)

A concentração de material dissolvido é determinada a partir do peso do resíduo seco resultante da evaporação, à temperatura fixa e constante seguida de secagem em estufa, de uma alíquota da amostra de volume conhecido. O resíduo seco varia com a temperatura de evaporação utilizada, sendo conveniente fixá-la entre 100 a 110°C ou 180°C. Na temperatura de 100-110°C podem existir alguns bicarbonatos, água de hidratação e alguma matéria orgânica, à temperatura de 180°C os bicarbonatos passam a carbonatos, a maior parte da matéria orgânica volatiliza ou é queimada e, toda a água de hidratação se desprende (CUSTODIO & LLAMAS, 1983). Outra forma de obter o dado é mediante um cálculo simples que envolve uma constante e o valor da condutância específica corrigida para 25°C

$$STD \text{ (mg/L)} = \text{constante} \times \text{Condutância Específica a } 25^{\circ}\text{C}$$

Essa constante varia entre 0,55 e 0,75 (CUSTODIO & LLAMAS, 1983), mas para este trabalho considerou-se o valor médio de 0,65

A concentração total de sólidos dissolvidos é uma indicação geral da adequabilidade da água para diferentes usos. O limite máximo admitido pela Legislação Uruguaia (OSE, 1986) para águas potáveis é de 1000 mg/L e as normas da Organização Mundial da Saúde (OMS) (OMS, 1936) têm como limite 500 mg/L, ou seja, de modo geral uma água com uma concentração de 500 mg/L de sólidos totais dissolvidos pode ser considerada satisfatória para uso doméstico e industrial.

A classificação de águas, em função do conteúdo de sólidos dissolvidos, segundo alguns autores, está apresentada na TABELA 4. A

escala adotada foi proposta por DAVIES & DEWIEST (1966), por ser específica para águas subterrâneas

TABELA 4- CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O CONTEUDO DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS

DAVIS & DEWIEST (1966)	STD (mg/l)	HEM (1970>)	STO (mgA)
Água doce	0-1 000	Levemente salina	1 000 - 3 000
Água Salobra	1 000 -10 000	Moderadamente salina	3 000 - 10 000
Água Salgada	10 000- 100 000	Muito salina	10 000 -35 000
Salmoura	>100 000	Salmoura	>35 000

3 2 3 2 Grau de Mineralização

Condutância específica é a capacidade de um cubo de um centímetro de aresta conduzir corrente elétrica (DAVIS & DEWIEST, 1966). No estado natural a água apresenta condutância específica elétrica diretamente proporcional à quantidade de íons em solução. Essa propriedade permite conhecer de forma rápida e aproximada o grau de mineralização de uma determinada água. A TABELA 5 é uma modificação da classificação apresentada por HINDI (1999), e mostra os diversos graus de mineralização em função da condutância específica.

TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE MINERALIZAÇÃO

Mineralização	Condutância Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Muito Baixa	$\sigma < 100$
Baixa	$100 \leq \sigma < 200$
Media Baixa	$200 \leq \sigma < 335$
Media	$335 \leq \sigma < 665$
Alta	$665 \leq \sigma < 1000$
Muito Alta	$1000 \leq \sigma$

3 2 3 3 Dureza Total

Denomina-se dureza total (D_T) ou título hidrotimétrico, a soma das durezas individuais dos íons de cálcio e magnésio, na forma de carbonatos e bicarbonatos (HINDI, 1999). A dureza da água depende dos solos e rochas

atravessadas. Em geral, águas provenientes de regiões de basalto, arenito ou granito são brandas ou moles, e aquelas provenientes de regiões de calcários, dolomitos ou depósitos de gipsita são, em geral, duras. O conteúdo de sais de cálcio e magnésio na água correspondem à dureza total, que pode ser expressa nas seguintes unidades (ESTRADA, 1986)

- Grau alemão ($^{\circ}\text{d}$) todos os componentes de dureza são expressos em mg/l de CaO ($10 \text{ mg de CaO/L} = 1^{\circ}\text{d}$)
- Grau francês ($^{\circ}\text{f}$) todos os componentes de dureza são expressos em mg/l de CaCO_3 ($10 \text{ mg de CaCO}_3/\text{L} = 1^{\circ}\text{f}$)
- ppm de CaCO_3 mg/l de carbonato de cálcio

A dureza causada pelos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} associados a HCO_3^- e CO_3^{2-} , é considerada como temporária (D_c), porque ao ferver a água, o bicarbonato se dissocia liberando CO_2 e água, precipitando carbonato de cálcio e de magnésio. Denomina-se dureza permanente (D_p) ao conteúdo total de Ca^{2+} e Mg^{2+} , depois da ebulição da amostra, ou seja, após a precipitação dos carbonatos. A dureza total pode ser expressa pela soma das durezas temporária e permanente (CUSTODIO & LLAMAS, 1983)

A dureza total apresentada nas análises físico - químicas foi calculada conforme citado em HINDI (1999), sendo o teor de cálcio e magnésio presente na água expresso como carbonato de cálcio, e calculado da maneira a seguir

$$D_T = [Ca^{2+}] \times [(CaCO_3)/(Ca)] + [Mg^{2+}] \times [(CaCO_3)/(Mg)]$$

$$D_T = 2,497 [Ca^{2+}] + 4,115 [Mg^{2+}]$$

onde $[Ca^{2+}]$ e $[Mg^{2+}]$ são as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} expressas em mg/L, determinadas nas análises químicas

O grau de dureza varia de muito duro a mole ou branda, e são expressos em mg/L de $CaCO_3$. Os graus de dureza e as faixas correspondentes dos teores de $CaCO_3$ variam de autor para autor como se apresenta na TABELA 6. Neste trabalho foi utilizada a classificação de CUSTODIO & LLAMAS (1983).

TABELA 6 – CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE DUREZA

HEM (1970)		CUSTODIO & LLAMAS (1983)	
Grau	$CaCO_3$ (mg/L)	Grau	$CaCO_3$ (mg/L)
Mole	$D_T < 60$	Mole	$D_T < 50$
Moderadamente dura	$60 \leq D_T < 120$	Ligeiramente dura	$50 \leq D_T < 100$
Dura	$120 \leq D_T < 180$	Moderadamente dura	$100 \leq D_T < 200$
Muito dura	$D_T > 180$	Muito dura	$D_T > 200$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 HIDROQUÍMICA

4.1.1 APRESENTAÇÃO DE DADOS HIDROQUÍMICOS

Foram coletadas 88 amostras de água de poços tubulares profundos nos domínios do sistema fissurado em Punta Espinillo, em intervalos aproximadamente sazonais, no período de março/2002 a março/2003, e uma amostragem de calibração de 8 poços em fevereiro de 2002. Desse total, foram aproveitadas 66 amostras, as demais foram descartadas pelos motivos apresentados adiante na sessão 4.1.2.

Foram determinados, em cada amostra, pelos métodos de análise estabelecidos pela *American Public Health Association* (APHA, 1995), os seguintes parâmetros: HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , turbidez, cor, alcalinidade total à fenolftaleína, e dureza total.

Os resultados dessas análises físico-químicas estão apresentados no ANEXO III.

4.1.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS

O resultado da análise e interpretação de dados hidroquímicos depende da qualidade dos métodos analíticos, dos procedimentos de coleta, transporte e conservação das amostras.

Os dados foram padronizados segundo os seguintes critérios:

Algarismos significativos

Os parâmetros medidos são variáveis contínuas que, por sua própria natureza, representam apenas aproximações dos valores verdadeiros. O número de algarismos significativos dos resultados dependerão da precisão dos aparelhos utilizados e do método analítico aplicado (DEMAYO & STEEL, 1996). Os resultados dos parâmetros costumam ser apresentados nas fichas de análises físico-químicas, com um número variado de casas decimais. Para efeito de uniformidade, os valores numéricos dos parâmetros analisados foram expressos com dois dígitos de casas decimais.

Erros de amostragem

As amostras de outono/2003 foram realizadas por uma equipe alternativa, tanto na fase de amostragem como no laboratório. Apresentam-se análises incompletas que não permitem avaliar sua confiabilidade com o balanço iônico, além de não apresentar dados básicos de campo como temperatura, pH, e condutância específica. Por outro lado, foram amostrados somente 14 dos 22 poços de observação, localizados a grande maioria na mesma área, e não sendo amostrados poços importantes como os 27 e 32, o qual faz impossível a análise estatística dos resultados.

Portanto, todas as análises físico-químicas de outono/2003, foram consideradas incompletas e não foram incluídas nas análises estatísticas nem geoquímicas realizadas.

Balanço Iônico

Após a etapa de amostragem, preservação e armazenamento de acordo com as técnicas apropriadas descritas nos tópicos anteriores, podemos considerar as amostras de água, remetidas as análises laboratoriais, como representativas do meio amostrado. Sendo assim, o resultado da análise passa a ser o único meio de caracterização da água subterrânea.

É vital para os resultados da pesquisa hidroquímica, avaliar as informações das análises fornecidas pelos laboratórios especializados. Essa avaliação é feita através do cálculo do erro da análise.

Numa análise hidroquímica completa, devido à neutralidade elétrica da água, a concentração total dos íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual à concentração total dos íons negativos (ânions). As diferenças entre os totais de cátions e ânions pode ser causada por erros acumulados na determinação individual dos íons e/ou por não se levar em conta a contribuição dos íons menores que, em certos casos, pode ser significativa (CUSTODIO & LLAMAS, 1983).

O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise (e%), ou também chamado Erro percentual do Balanço Iônico (EBI%), que pode ser expresso por (SCHOELLER, 1962, LLOYD & HEATHCOTE, 1985)

$$e\% = \left| \frac{r \sum \text{cátions} - r \sum \text{ânions}}{r \sum \text{cátions} + r \sum \text{ânions}} \right| \times 100$$

$r \sum \text{cátions} =$ concentração total dos cátions em miliequivalente por litro (meq/L)

$r \sum \text{ânions} =$ concentração total dos ânions em miliequivalente por litro (meq/L)

CUSTODIO & LLAMAS (1983), considera que o erro de balanço iônico decresce com o aumento da concentração iônica e aplica a proporcionalidade entre condutância específica e concentração iônica, para estabelecer os erros de balanço iônico admissíveis da seguinte forma:

Ce ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	950	2.000	>2.000
Erro Permitido (%)	30	10	8	6	4	<4

O EBI médio para as 66 análises utilizadas neste trabalho é 7,50% e o máximo, 10,06%. Como o valor médio de condutância específica medido nos poços foi 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$, as análises físico-químicas estariam todas fora do erro admissível. Com base nesse critério deveriam ser rejeitadas.

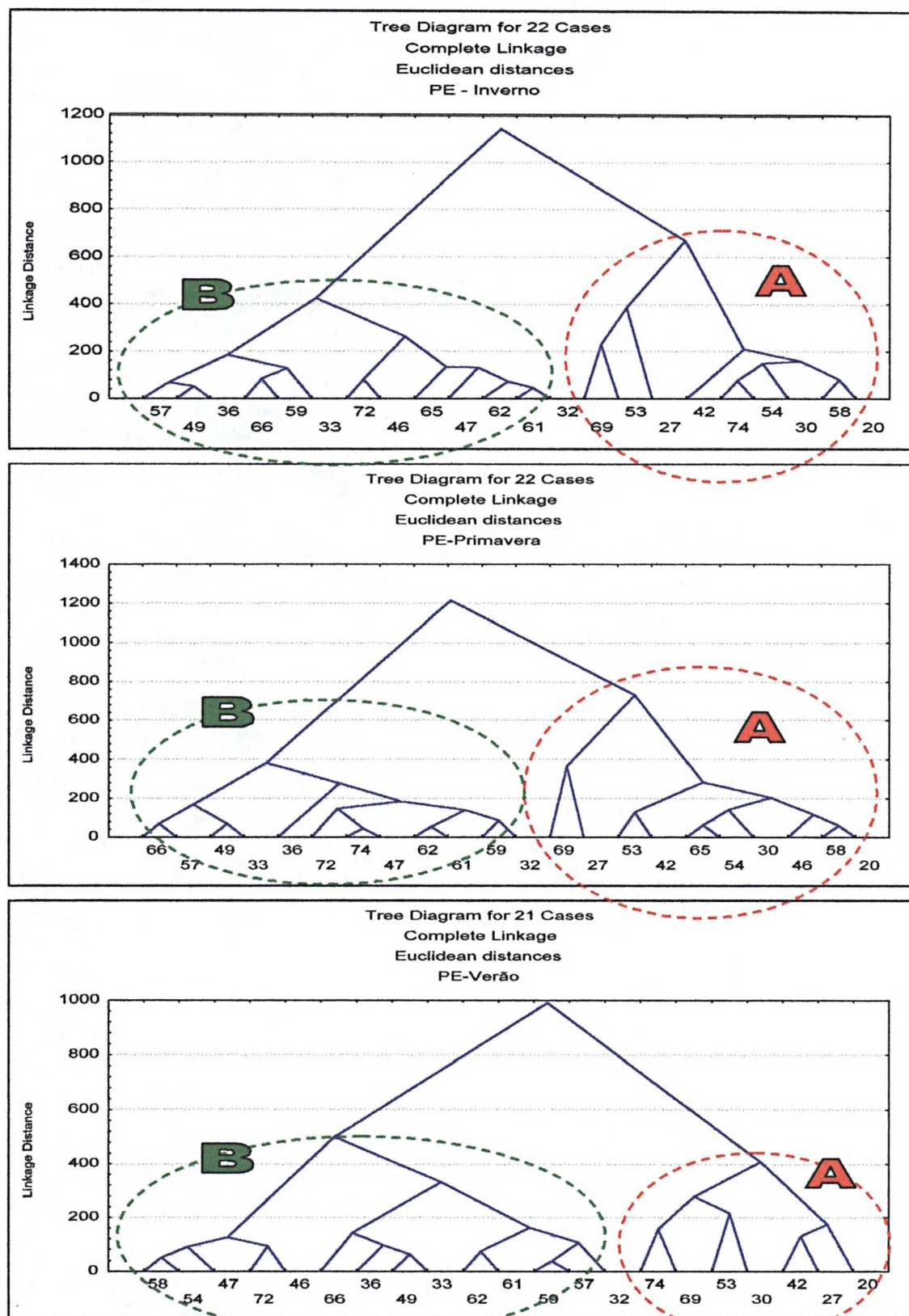
Outros autores aceitam que para um coeficiente de erro (e%) não superior a 10%, a análise pode ser considerada como correta (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000). Levando em conta os valores apresentados, considerando que as amostras apresentam um erro máximo de 10,06%, as análises foram consideradas aceitáveis.

4.1.3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Foram relacionados os 22 poços e os 13 parâmetros analisados mediante análise estatística de agrupamentos (*cluster analysis*) para determinar se existia alguma tendência entre os poços e as variáveis.

Na FIGURA 8 se apresentam os agrupamentos obtidos para as amostras de água nas diferentes estações. Os parâmetros considerados para os agrupamentos são listados a seguir: sódio, potássio cálcio magnésio, nitratos, sulfatos, cloretos, bicarbonatos, condutância específica, STD e dureza.

FIGURA 8: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DOS POÇOS NAS ESTAÇÕES AMOSTRADAS, SENDO O VERMELHO O AGRUPAMENTO A (DIREITA) E O VERDE O AGRUPAMENTO B (ESQUERDA).



Da análise do desenho das árvores hierárquicas surge que, existem dois agrupamentos de hierarquia maior, que foram definidos como A e B, e dentro de cada agrupamento há dois de hierarquia menor. Somente foram considerados os agrupamentos de maior hierarquia, porque se buscam grandes tendências e não situações isoladas. No agrupamento A localizam-se os poços 20, 27, 30, 42, 53, 69, 74 e 54, e no agrupamento B os restantes.

O agrupamento A apresenta distâncias de união maiores do que o agrupamento B. Os ângulos entre galhos do agrupamento A são menores que os ângulos entre galhos do agrupamento B. Isto estaria indicando que os poços do agrupamento A têm um maior relacionamento que os poços do agrupamento B.

Os poços do agrupamento A são os que apresentam a maior quantidade de anomalias como, concentrações muito altas de nitratos, sódio, cloretos e sulfatos, além de apresentar relações diretas entre o aumento das concentrações e as direções de fluxo desde o NW como se apresentará diante

O agrupamento B reflete uma associação de poços com as direções de fraturamento NS, mas não apresenta tendências nem correlações significativas em termos de diluição ou concentração com as variáveis consideradas nem com outras variáveis como a potenciometria e as direções de fluxo.

4 1 4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA

As variações climáticas sazonais podem influenciar as características físico-químicas da água e a descarga de forma mais ou menos intensa, em função do tipo de recarga do aquífero e da proximidade do nível da água subterrânea com relação à superfície do terreno (HINDI, 1999) Quanto mais rápida a resposta do aquífero às variações climáticas, sobretudo à precipitação, maior será a variação relativa da concentração das substâncias dissolvidas e da descarga (HINDI, 1999) As características do fluxo da água através do aquífero também influenciam o caráter químico das águas Fluxos rápidos podem resultar em variações de concentração de alguns íons, devido ao tempo insuficiente para que ocorra o equilíbrio químico entre a água e o material que constitui o aquífero (HINDI, 1999)

As propriedades hidroquímicas dos poços estudados encontram-se descritas a seguir Para avaliar o comportamento temporal e permitir comparações entre os poços e em diferentes datas, os parâmetros mais significativos foram apresentados na forma de gráficos de dispersão X-Y, numa matriz de correlação e em mapas de curvas de iso-valores, que pretendem ajudar na localização das diferentes concentrações de íons no espaço

4 1 4 1 Parâmetros Hidroquímicos

O pH e a temperatura da água são parâmetros fundamentais para o estudo do equilíbrio termodinâmico em soluções aquosas Os valores das constantes de equilíbrio dependem da temperatura Assim, qualquer variação do equilíbrio químico e da solubilidade dos minerais das rochas do aquífero interfere neste parâmetro O pH controla as reações de dissolução de

carbonatos e, conseqüentemente, a espécie iônica em solução. A temperatura, pH e condutância específica da água foram medidas, na primeira campanha na boca do poço e nas outras no laboratório.

A temperatura média da água oscila em torno de $18,5^{\circ}\text{C}$ em todas as estações, com mínima de $11,5^{\circ}\text{C}$ no inverno e máxima de $19,9^{\circ}\text{C}$ no verão. O pH dessas águas varia de 7,03 a 7,75 com média de 7,39. A faixa de variação desses parâmetros é muito estreita, não sendo os mesmos úteis para determinar as possíveis influências litológicas na composição das águas.

No estado natural, a água apresenta condutividade elétrica diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos (STD). Tal propriedade pode ser usada para conhecer de forma rápida e aproximada, o grau de mineralização das águas da área de estudo. Os poços estudados são altamente mineralizados, com condutância específica variando de $1136\ \mu\text{S}/\text{cm}$ a $2137\ \mu\text{S}/\text{cm}$ com média de $1608\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Os poços localizados na borda nordeste da área de trabalho apresentam condutância específica média de $1972\ \mu\text{S}/\text{cm}$, valor muito acima da média geral. Isso se deve ao grau de mineralização mais elevado das águas dessa área, como será discutido adiante.

A condutância específica apresenta correlação linear alta ($r=1$) com os teores de STD (calculado) e moderada ($r = 0,73-0,76$) com Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} e dureza total. Nas FIGURAS 9, 10 e 11 são apresentadas as correlações entre os parâmetros estudados, incluindo a condutância específica.

Alcalinidade

Mede a capacidade da água para neutralizar ácidos fortes em função da concentração de íons carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. É apresentada nas análises como alcalinidade à fenolftaleína, que mede a alcalinidade devida à presença de carbonatos e hidróxidos (GREENBERG *et al*, 1998)

As águas analisadas apresentam alcalinidade média de 627 mg/L (HCO_3^-) com valores mínimo de 775 mg/L (HCO_3^-) e máximo de 479 mg/L (HCO_3^-)

Dureza Total

O grau médio de dureza das águas é de 103 mg/L de CaCO_3 , com mínimo de 103 mg/L (CaCO_3) e máximo de 349 mg/L de (CaCO_3)

Estes valores revelam que estamos frente a águas duras a muito duras. Este parâmetro apresenta uma leve variação temporal, aumentando no verão e diminuindo no inverno, além de um alto coeficiente de correlação ($r=0,99$) com o Ca^{2+} e Mg^{2+}

FIGURA 9 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE INVERNO 2002

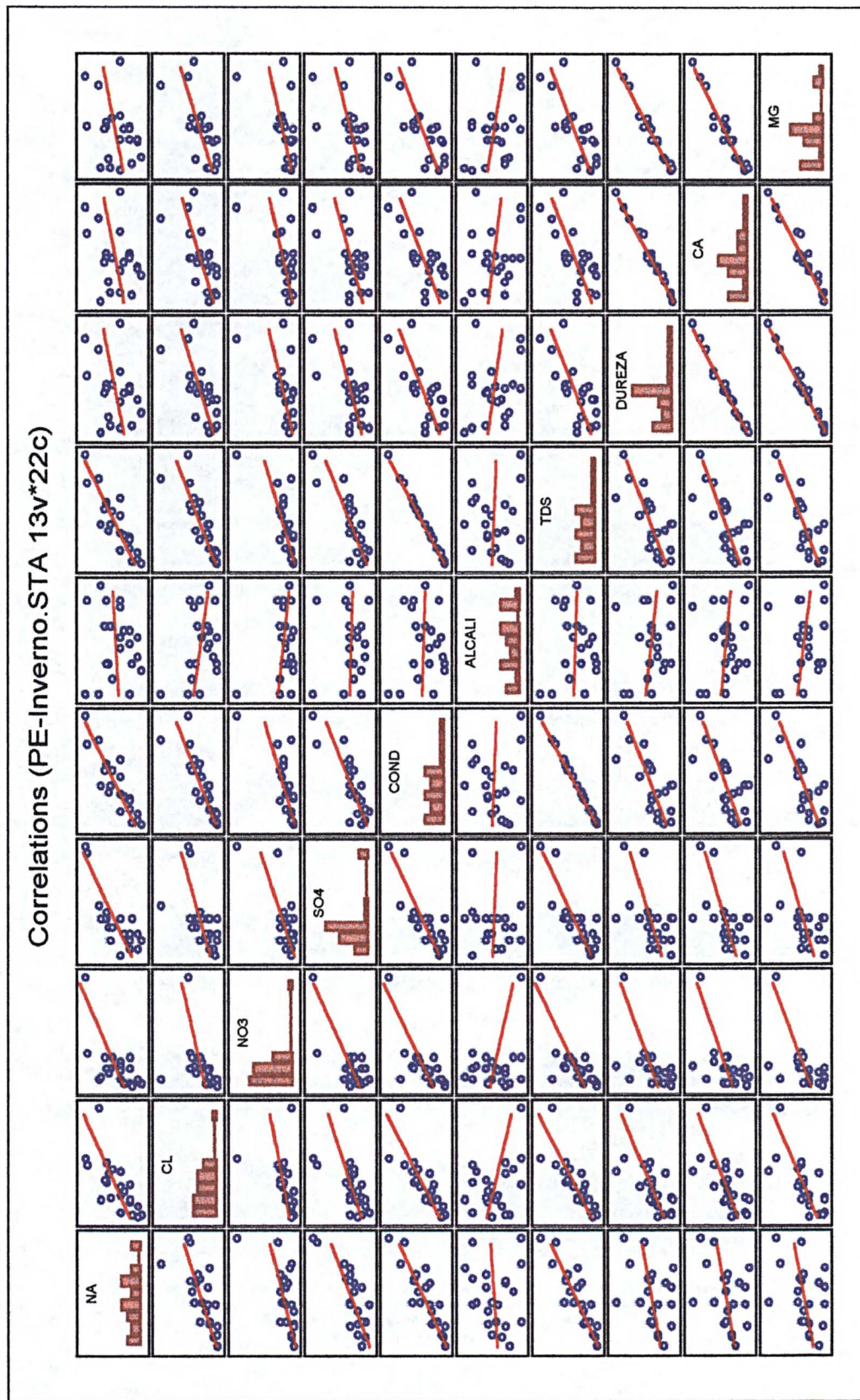


FIGURA 10 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE PRIMAVERA 2002

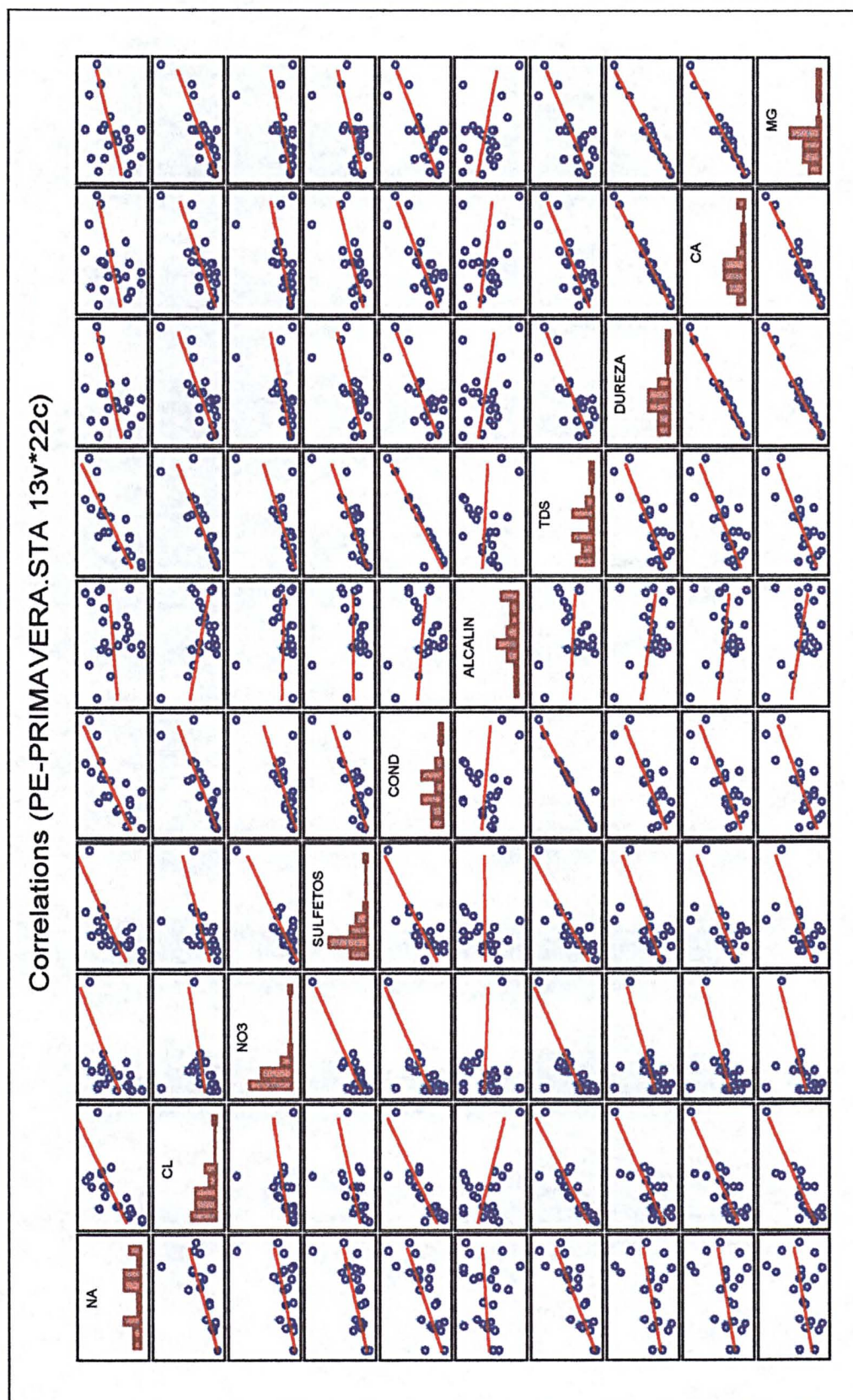
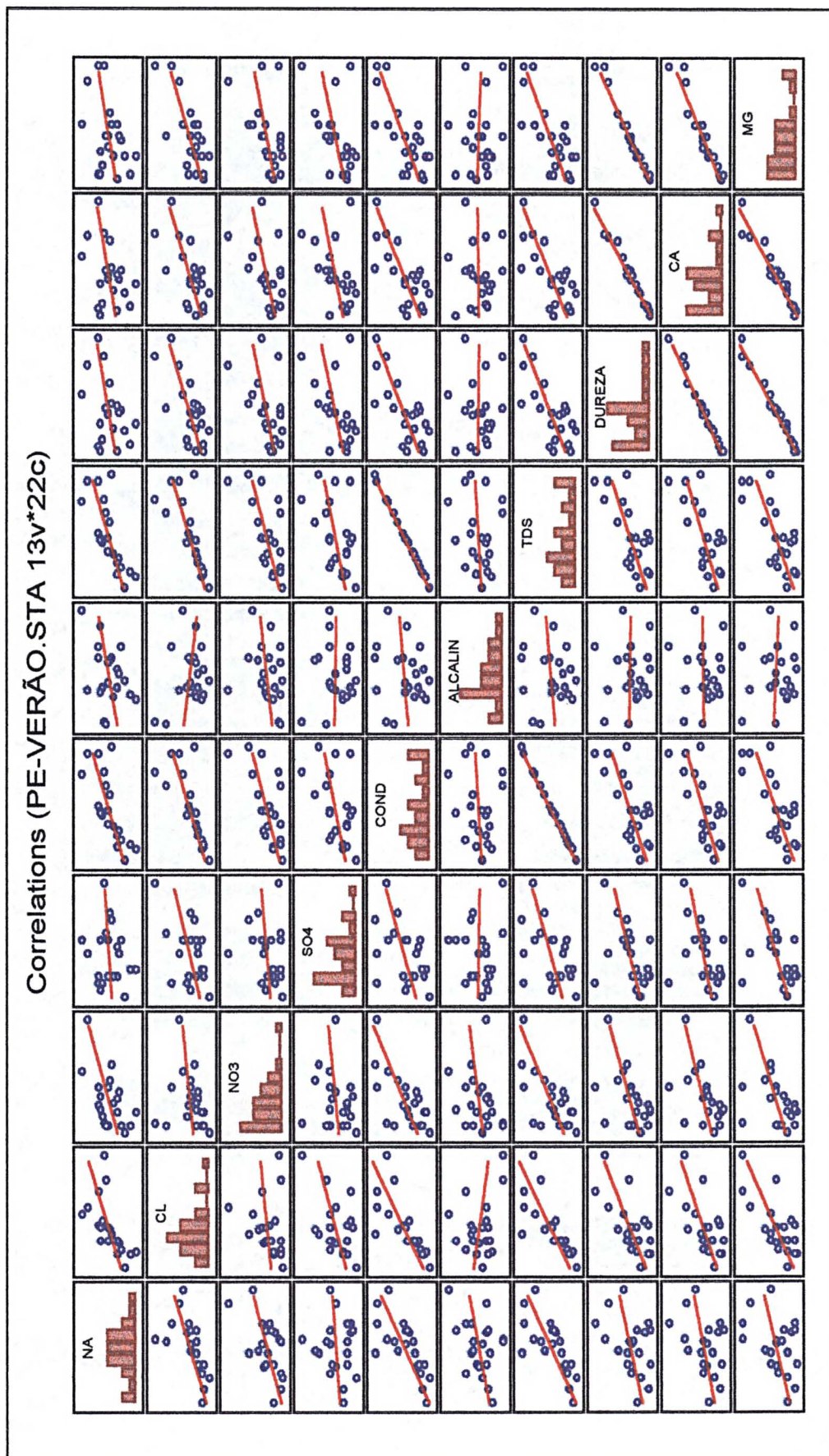


FIGURA 11 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE VERÃO 2002



Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A concentração de material dissolvido foi determinada mediante um cálculo simples que envolve uma constante e o valor da condutância específica corrigida para 25°C

$$STD \text{ (mg/L)} = \text{constante} \times \text{Condutância Específica a 25°C}$$

Essa constante varia entre 0,55 e 0,75 (CUSTODIO & LLAMAS 1983), e para este trabalho considerou-se o valor médio de 0,65. Este cálculo dá um valor aproximado em mg/L dos STD. O valor máximo obtido para as amostras é de 1470 mg/L, o mínimo de 819 mg/L e a média 1144,5 mg/L. O limite máximo admitido pela Legislação Uruguaia (OSE, 1986) para águas potáveis é de 1000 mg/L, as normas da Organização Mundial da Saúde (OMS, 1936) têm como limite 500 mg/L. Os valores apresentados superam amplamente os limites impostos pela OMS e 73 % das amostras se encontram acima do limite das normas uruguaias.

Sulfato

Nas amostras analisadas, a concentração máxima do íon SO_4^{2-} é 165 mg/L o mínimo de 15 mg/L e a média de 70 mg/L. Há uma tendência ao aumento da concentração nas estações mais quentes e secas, registrando-se os valores maiores no verão e os menores no inverno. Os valores obtidos são típicos de águas subterrâneas.

Carbonato, Bicarbonato e pH

O dióxido de carbono dissolvido naturalmente na água aparece nas análises químicas, principalmente, na forma dos íons carbonatos e bicarbonatos e a ocorrência de H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} está relacionada ao pH.

Os valores de pH medidos estão sempre abaixo de 7,98, de modo que o ânion CO_3^{2-} não está presente em nenhuma das análises. O íon bicarbonato é o íon mais importante, sendo responsável, juntamente com o sódio, o cloreto e o nitrato, por cerca de 90% da mineralização da água.

As concentrações de HCO_3^- , não mostram relação linear com nenhum dos outros parâmetros, o coeficiente de correlação é muito baixo ($r^2 = 0,34$). As concentrações de HCO_3^- variam de 479 mg/l a 775 mg/l, com média de 627 mg/l. Estes valores estariam indicando a presença de águas doces continentais, sem influência marinha aparente.

Nitrato e Nitrito

O conteúdo de nitrato das amostras analisadas é um dos parâmetros mais discriminantes e chamativos. Somente o 16% das amostras apresentam valores abaixo do limite de potabilidade de 45 mg/L (NO_3^-), sendo o valor mínimo de 31,89 mg/L, o restante 84% apresentam valores altos com um valor máximo de 314 mg/L, a média é de 173 mg/L.

É possível que a origem da alta concentração de nitrato na área do poço 27, esteja relacionada com atividades avícolas. Encontra-se na área uma fazenda de criação de frangos que apresenta os valores mais altos de nitratos oscilando entre 119,61 mg/L (verão), 310 mg/L (primavera) e 314 mg/L (inverno). Esta fazenda é de grande porte (FIGURAS 12 e 13) pelo qual a concentração de rejeitos orgânicos (esterco de frango) é muito alta. Deve-se considerar que esse é um resultado local, mas que existe a possibilidade de contaminação do aquífero por lixiviação e escoamento superficial de chorume da pilha de esterco.

As curvas de iso-concentração de nitrato nas diferentes estações para os poços estudados está apresentada na FIGURA 14.

Por outra parte, os mapas de curvas de iso-concentrações mostram que existem outros pontos de alta concentração. Na área do poço 53 e 65 a contaminação está principalmente associada a práticas de fertilização.

FIGURA 12: FAZENDA DE CRIAÇÃO DE FRANGOS

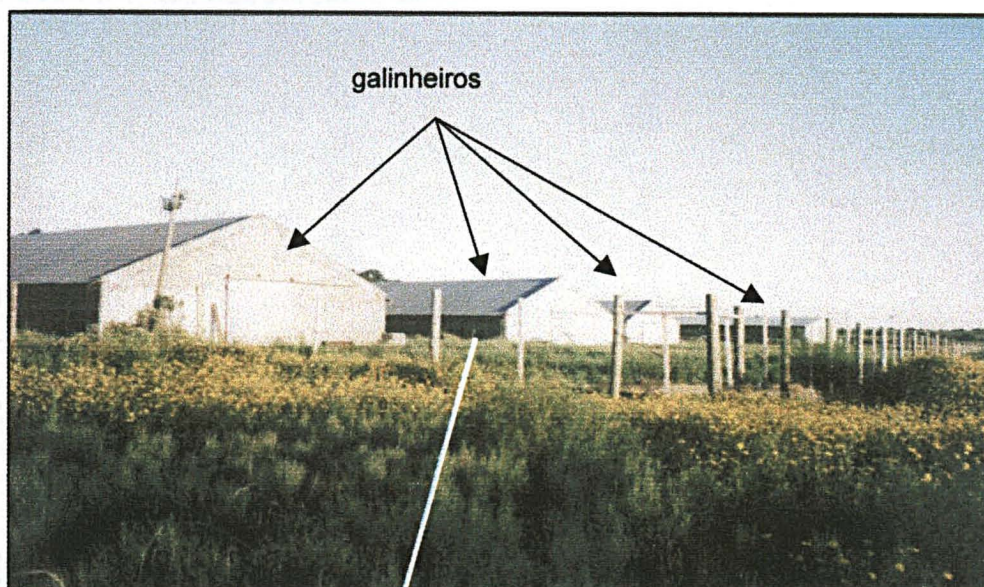
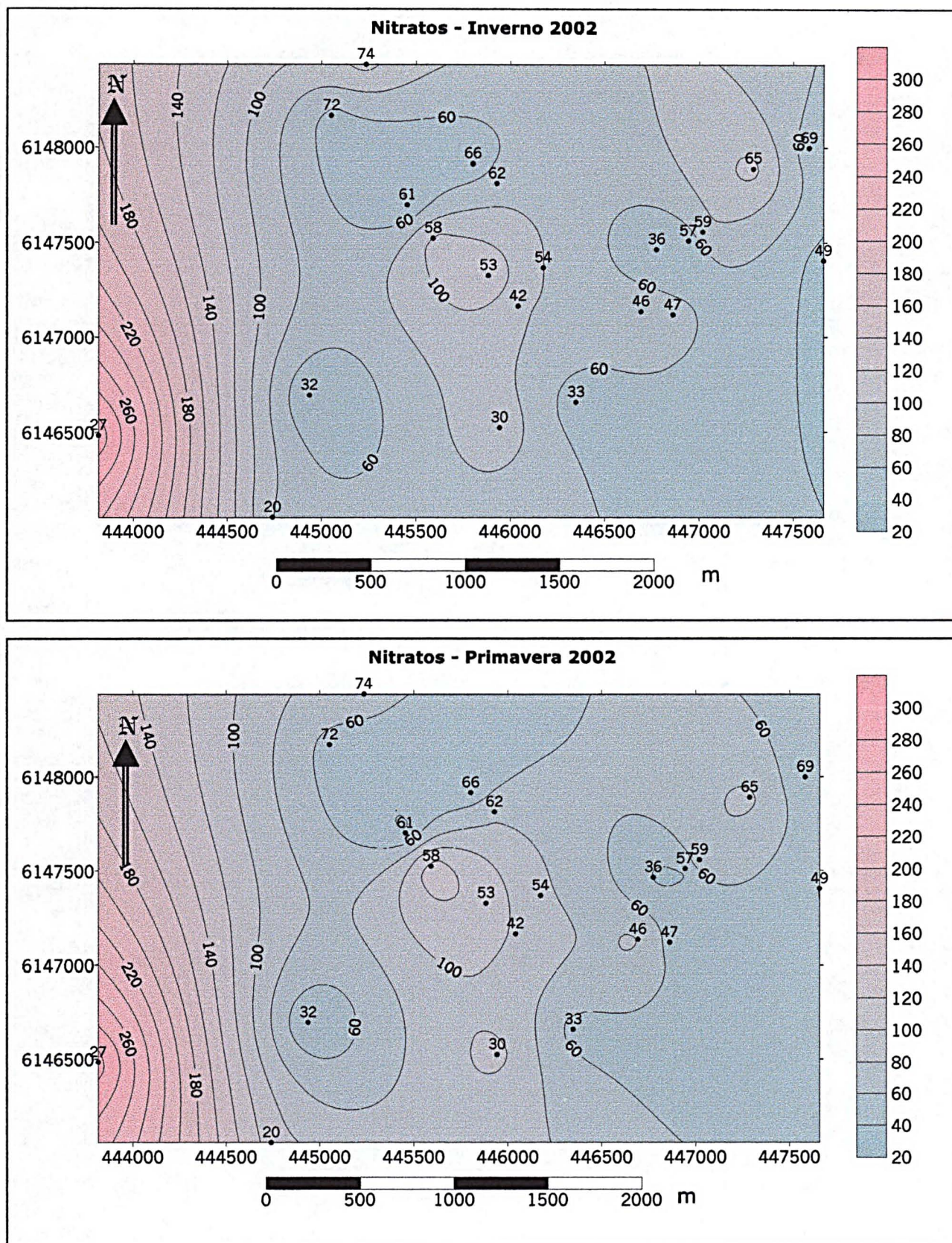
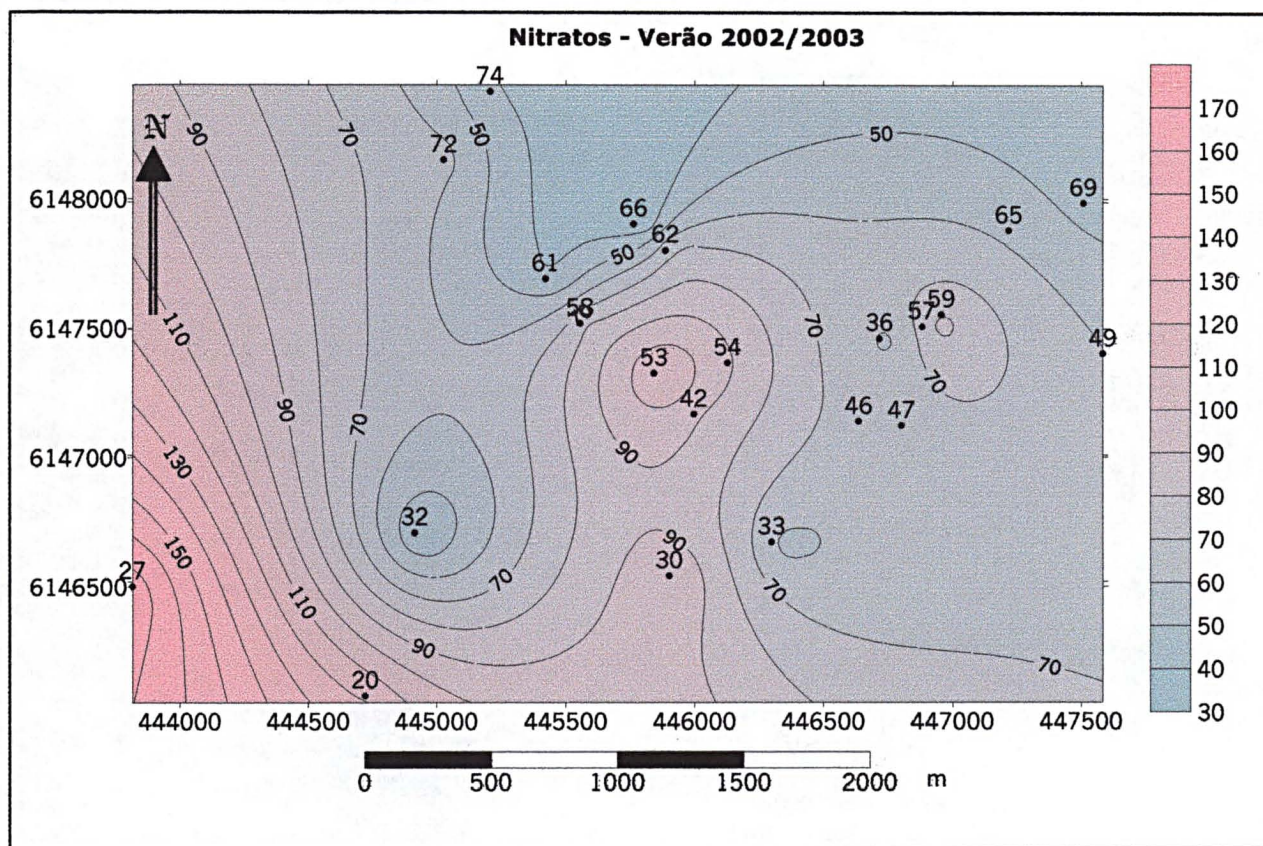


FIGURA 13: DETALHE DOS GALINHEIROS E DOS FRANGOS

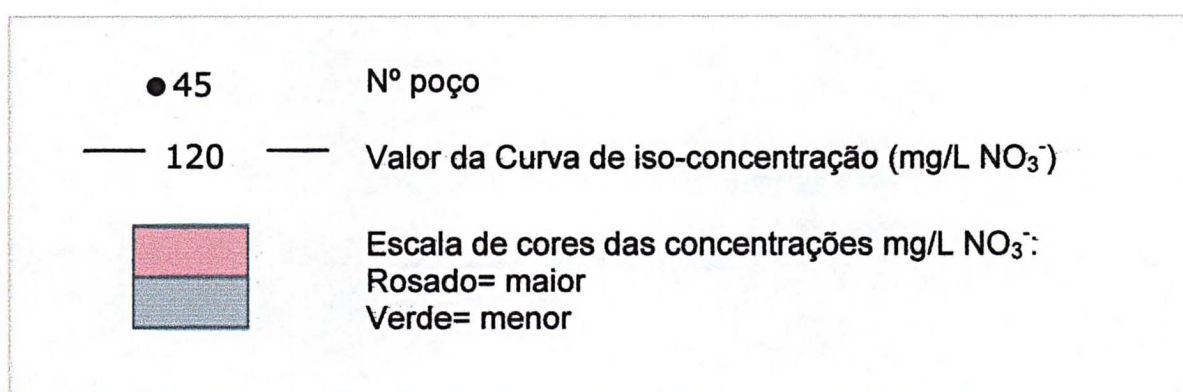


FIGURA 14 MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE NITRATO PARA AS ESTAÇÕES AMOSTRADAS



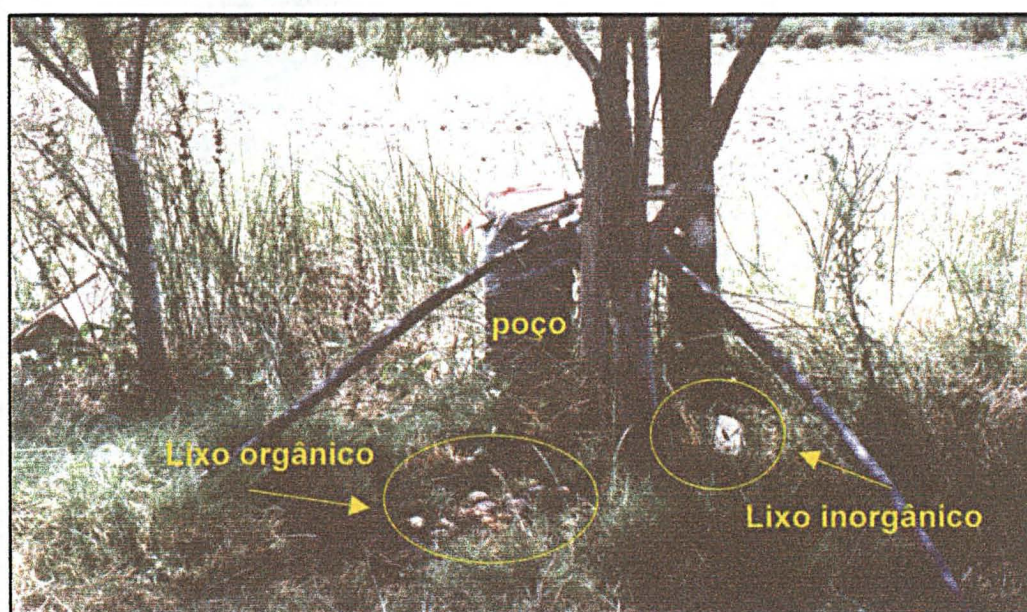


Convenções:



Os valores dos poços 72 e 74 estão associados principalmente com decomposição de matéria orgânica nas proximidades do poço (FIGURA 15) e efluentes domésticos, uma vez que ocorrem associados a outros indicadores de contaminação por esgotos como Cl^- e Na^+ .

FIGURA 15: DETALHE DAS SUSTÂNCIAS CONTAMINANTES ORGANICAS E INORGÂNICAS ENCONTRADAS NAS PROXIMIDADES DO POÇO 72.



Cloreto

Nos poços estudados encontram-se altas concentrações deste íon atingindo o valor máximo de 327 mg/L na primavera para o poço nº 69 e o mínimo de 33 mg/L no verão

Essas concentrações elevadas de cloreto têm uma relação com as concentrações de sódio, apresentando padrões similares nas curvas de iso-concentrações para as distintas estações (FIGURAS 16, 17 E 18)

Potássio e Sódio

A concentração média de potássio nas amostras é de 3,77 mg/L e os máximo e mínimo são, respectivamente, 8 mg/L e 2 mg/L. A média está entre os valores normais para as águas subterrâneas

Os valores de sódio estão, muito acima dos valores esperados para águas subterrâneas, apresentando uma concentração média de 347,5 mg/L e o máximo e mínimo são, respectivamente, 447 mg/L e 248 mg/L

O sódio quando correlacionado com cloreto tem coeficiente de correlação de 0,71. Isso pode indicar uma vinculação entre os dois e que sua origem esteja associada a vários fatores, como efluentes domésticos, entrada da cunha salina e/ou dissolução de sais evaporíticos. Estes fatores serão abordados diante

FIGURA 16 MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE CL-NA PARA INVERNO

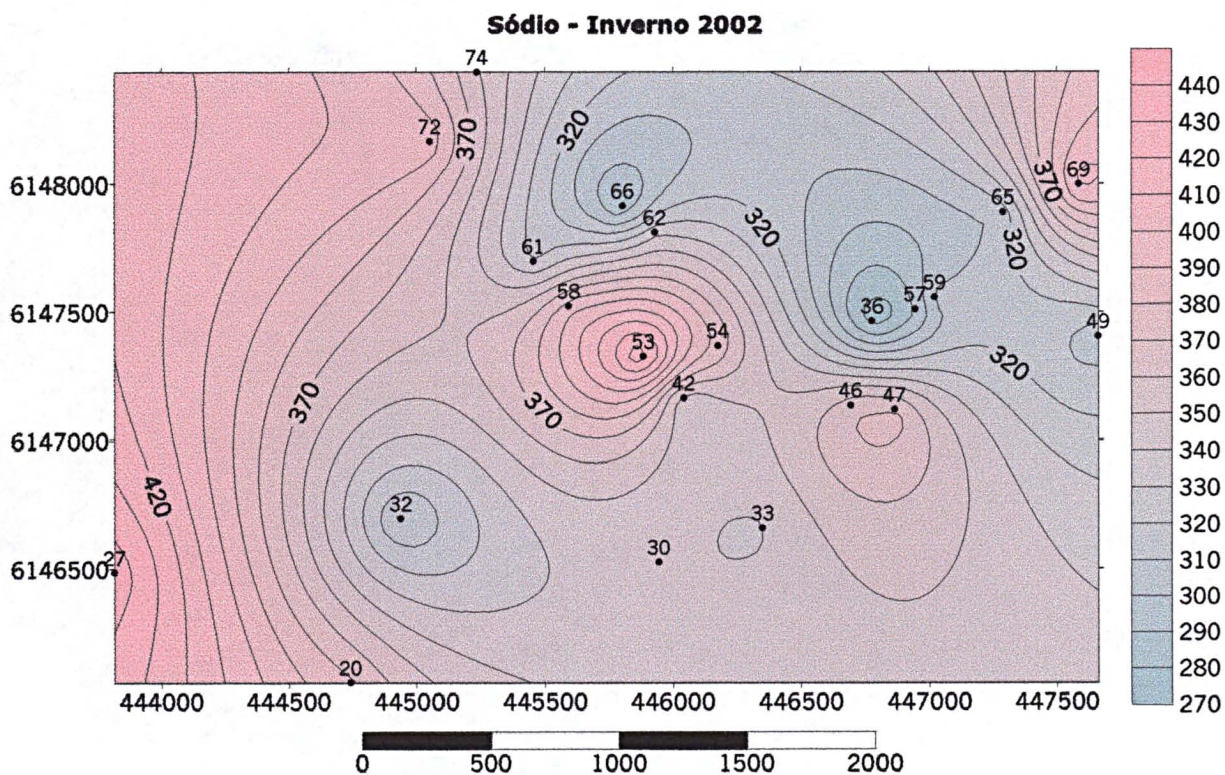
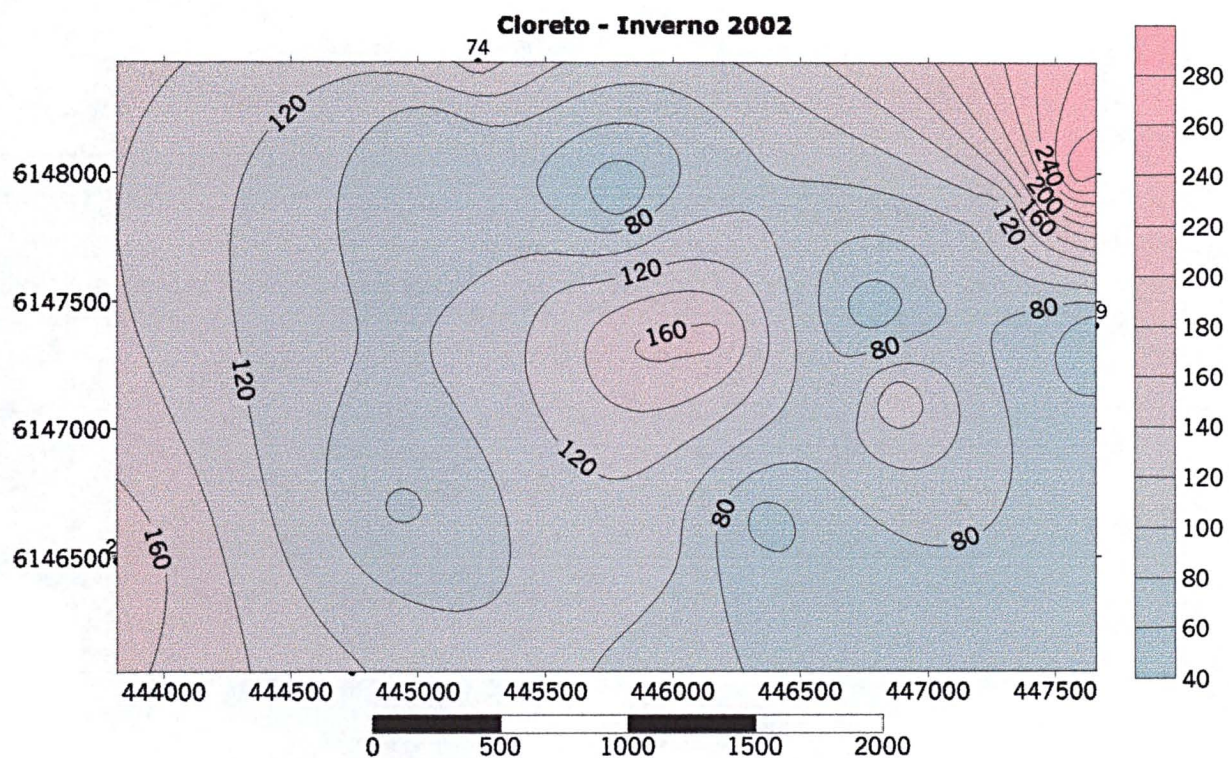


FIGURA 17 MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE CL-NA PARA PRIMAVERA

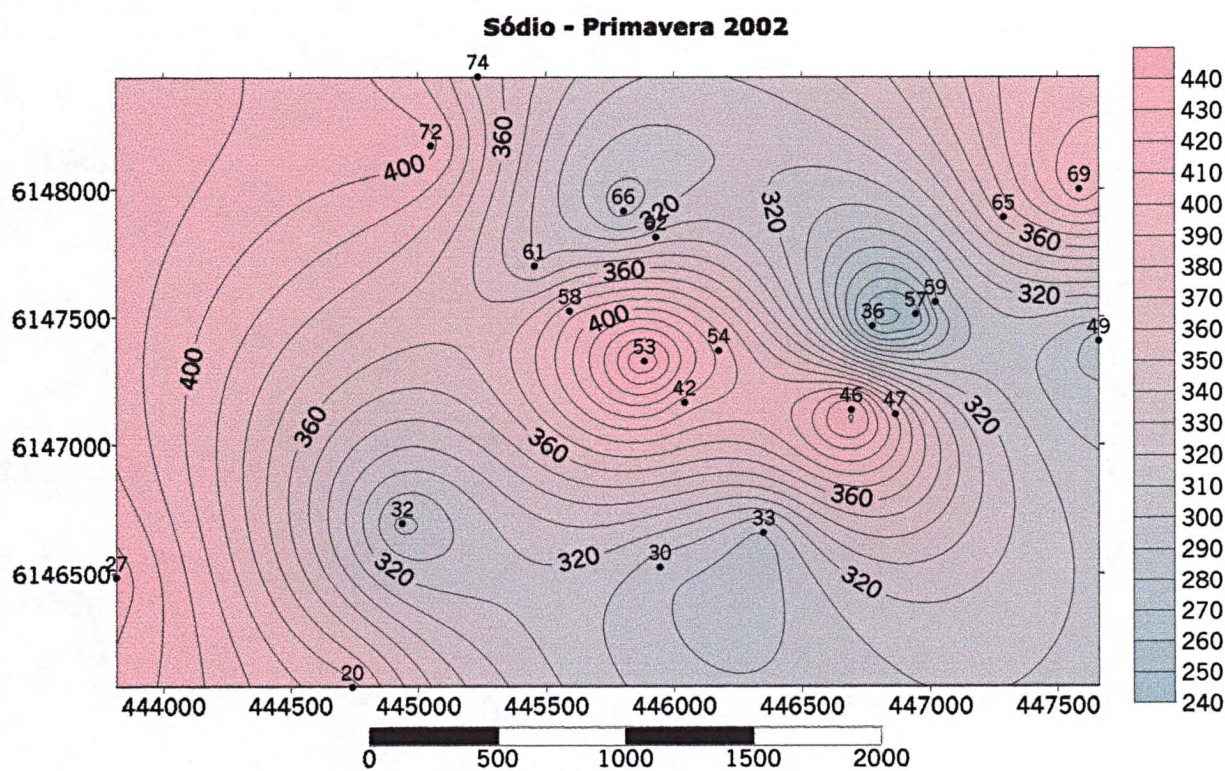
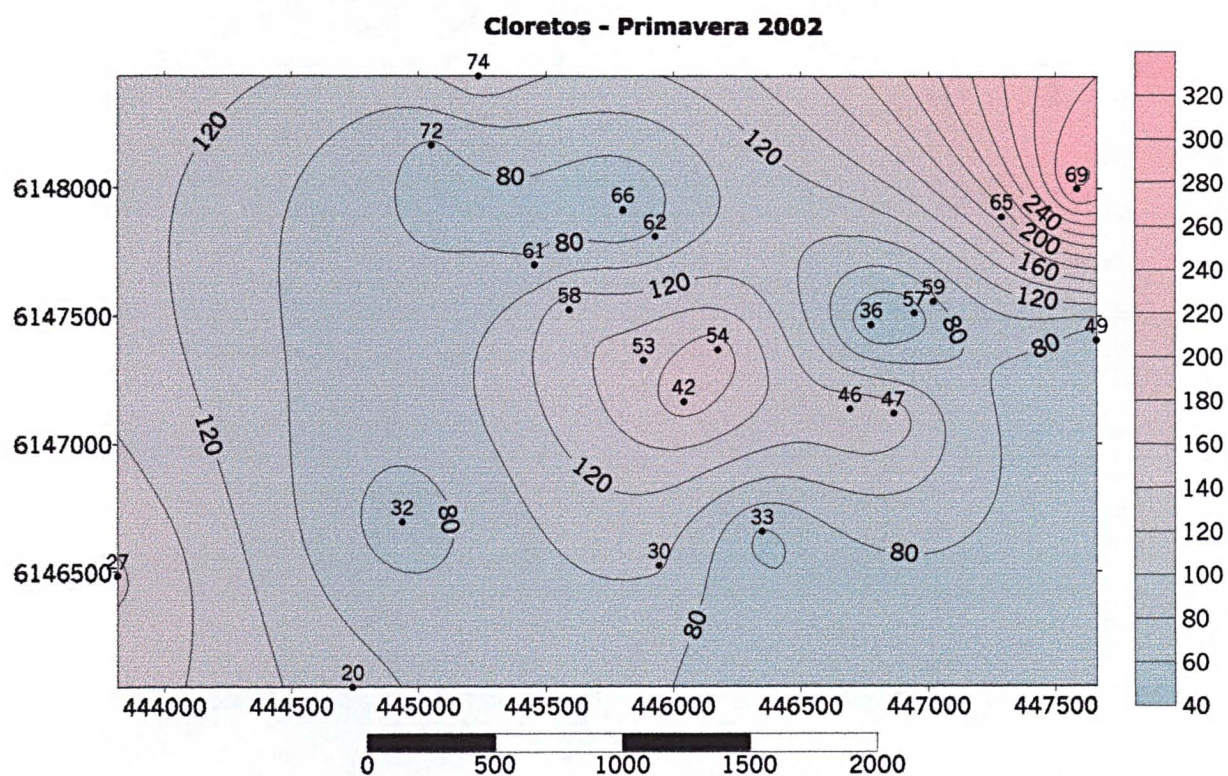
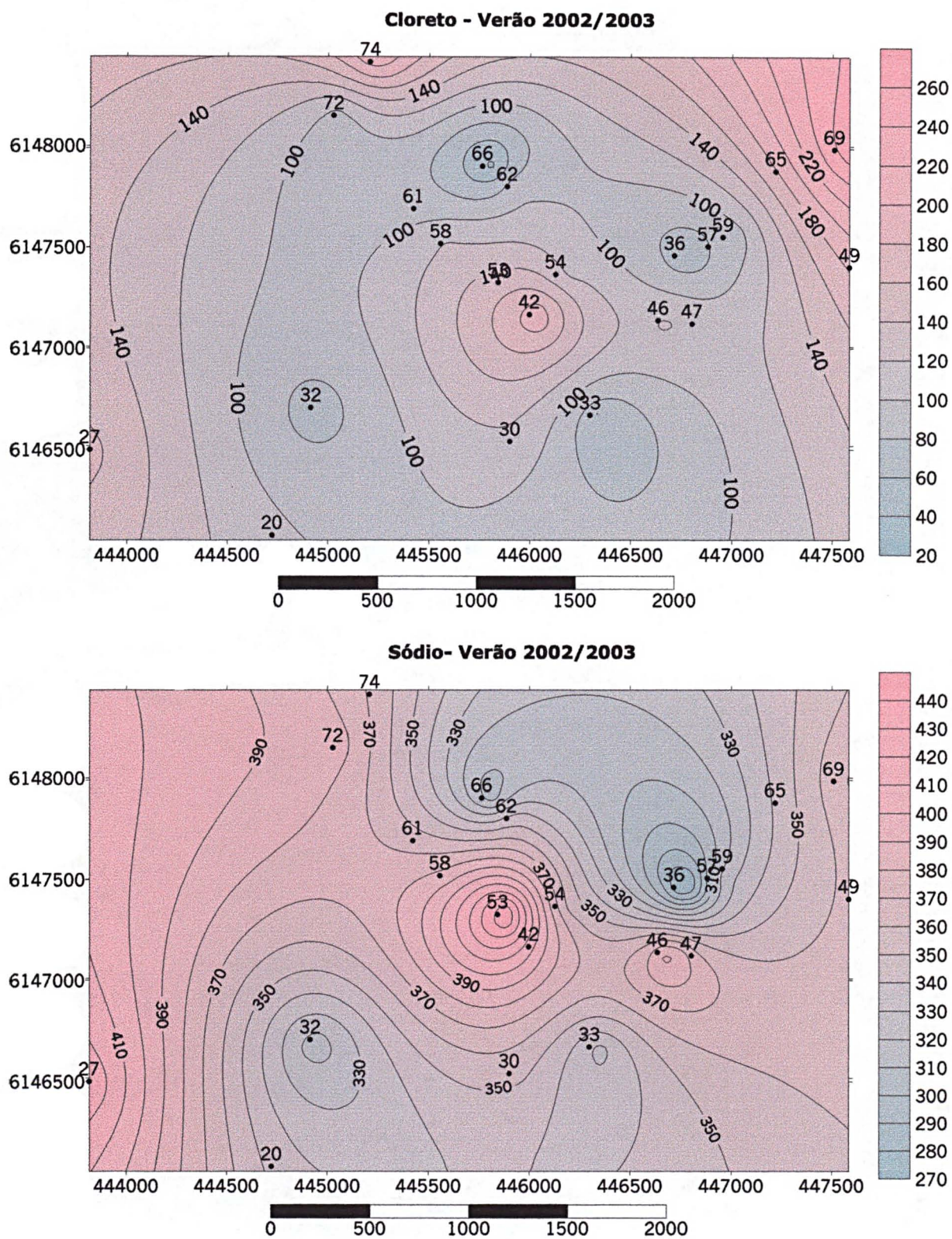


FIGURA 18 MAPAS DE ISO- CONCENTRAÇÕES DE CL-NA PARA VERÃO



Nas FIGURAS 16, 17 e 18, temos as curvas de iso concentrações de cloretos e sódio para inverno, primavera e verão respectivamente. Nelas podemos observar que os padrões das curvas são altamente similares, destacando as altas concentrações nos poços do agrupamento A (FIGURA 8)

Para a situação dos cloretos é de destacar um aumento das concentrações na direção Nordeste, se encontrando o valor máximo no poço 69, o mais distante da costa do rio da Prata, verificando-se *a priori* uma diminuição das concentrações de cloretos na direção SW

Para o sódio acontece, no inverno, um aumento das concentrações na direção SW, porém na primavera e no verão ocorre um pico de concentração no centro da área (poço 53), com maiores concentrações no poço 27 que no poço 69. Esta anomalia no poço 53 pode ser devida aos diferentes manejos de poços que tem acontecido na área

Em função dos conceitos obtidos mediante a análise das curvas, surge que o sódio e o cloreto não apresentam uma direção de aporte consistente com a hipótese da entrada da cunha salina desde o sudoeste (SW)

Cálcio e Magnésio

Nas amostras analisadas a concentração média de cálcio é de 41,33 mg/L, sendo os valores máximo e mínimo 76 mg/l e 22 mg/L respectivamente

Em referência ao magnésio, apresentam uma concentração média de 20,90 mg/L sendo 38,69 mg/L e 11,07 mg/L os valores máximo e mínimo

respectivamente

Os valores se encontram dentro dos esperados para águas subterrâneas. Estima-se que as altas concentrações pontuais, tanto de cálcio como de magnésio (poços 69, 42 e 27, nomeados em ordem decrescente de concentração) estejam vinculadas com fenômenos de dissolução parcial de concreções de CaCO_3 (calcretes) contidas na Formação Libertad. Os poços considerados pertencem ao agrupamento A e as concentrações apresentam uma diluição no sentido SW.

4.1.4.2 INDICES HIDROGEOQUÍMICOS OU RAZÕES IÔNICAS

As razões iônicas são as relações entre os íons dissolvidos em uma água. Estas relações podem indicar um certo relacionamento com o litotipo do qual a água se origina, indicar a ação de fenômenos modificadores ou indicar uma característica específica da água considerada. Pode-se estabelecer vários tipos de razões cujo objetivo é função do problema a estudar. É comum designar estas razões com o nome de índices hidrogeoquímicos.

As razões iônicas mais frequentemente utilizadas no estudo hidrogeoquímico, que foram as estudadas para o presente trabalho, segundo CUSTODIO & LLAMAS (1983) e FEITOSA & MANOEL FILHO (2000), estão a seguir descritas e seus valores são expressos em meq/L (como indica o símbolo *r*). Nas TABELAS 7 e 8 se apresentam os valores dos índices para as diferentes épocas estudadas.

TABELA 7. INDICES GEOQUÍMICOS PARA INVERNO E PRIMAVERA 2002

	$r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$		$r \text{K}^+ / r \text{Na}^+$		$r \text{Cl}^- / r \text{HCO}_3^-$		SAR	
	Inverno	primavera	Inverno	primavera	Inverno	primavera	Inverno	primavera
20	0,87543	0,87246	0,00769	0,00612	0,28227	0,30705	11,5808	11,7854
27	0,85263	0,82189	0,00789	0,00809	0,50487	0,53359	11,3051	11,2975
30	0,76084	0,67616	0,00859	0,01547	0,27688	0,29308	9,7494	8,7997
32	0,73864	0,67651	0,00761	0,00996	0,18441	0,17990	9,7292	9,5683
33	0,83334	0,67902	0,83334	0,00794	0,11704	0,15887	13,5221	12,3376
36	0,77887	0,73167	0,00861	0,00948	0,12102	0,13312	9,6672	8,9008
42	0,83921	0,77461	0,00859	0,00746	0,34190	0,45449	8,2420	9,5991
46	0,86421	0,77012	0,00801	0,00682	0,20605	0,36585	14,5173	16,0231
47	0,82189	0,80248	0,00788	0,00769	0,37336	0,40805	13,6684	14,3061
49	0,95495	0,74021	0,00773	0,00414	0,12445	0,19332	11,9753	11,0095
53	0,70988	0,74106	0,00801	0,00519	0,37636	0,40864	12,8505	13,5066
54	0,87890	0,81160	0,00777	0,00591	0,43956	0,53512	11,7184	12,2766
57	0,83415	0,93108	0,00816	0,00474	0,16690	0,15114	9,5002	7,8699
58	0,89276	0,81160	0,00759	0,00303	0,30544	0,39117	12,2486	11,9681
59	0,86313	0,75115	0,00753	0,00608	0,20502	0,23008	9,5995	9,2035
61	0,89276	0,87964	0,00893	0,00345	0,24342	0,24336	10,4129	10,9361
62	0,89164	0,88050	0,00869	0,00525	0,22949	0,25910	11,2797	11,2461
65	0,85980	0,86099	0,00751	0,00648	0,33849	0,62986	9,7530	10,5771
66	0,87296	0,75368	0,00813	0,00582	0,09977	0,17668	9,5606	10,3590
69	0,87388	0,83943	0,00871	0,00718	0,84911	1,17499	10,6074	9,5263
72	1,00310	0,79375	0,00740	0,00435	0,17989	0,20265	16,4695	17,3645
74	0,95533	0,80790	0,00814	0,00480	0,41583	0,42556	10,9704	12,3575

TABELA 8 INDICES GEOQUÍMICOS PARA VERÃO 2002 E OUTONO 2003

	$r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$		$r \text{K}^+ / r \text{Na}^+$		$r \text{Cl} / r \text{HCO}_3$		SAR	
	Verão	Outono	Verão	Outono	Verão	Outono	Verão	Outono
20	0 824549		0 006779		0 298716		10 66545	
27	0 867946		0 007676		0 512033		11 44963	
30	0 719606	0 664220	0 013365	0 043203	0 325936	0 245882	9 96783	6 16379
32	0 728671	0 690320	0 009364	0 009967	0 192771	0 179904	10 02982	9 52921
33	0 732933	0 824549	0 007193	0 007891	0 175332	0 175571	13 16525	13 02612
36	0 694357	0 895225	0 011180	0 006181	0 206033	0 399776	9 02641	11 25988
42	0 766482		0 008464		0 539759		9 73790	
46	0 765653		0 008039		0 349924		15 47104	
47	0 802481	0 916166	0 007697	0 009772	0 408050	0 423340	14 30610	13 13257
49	0 740219	0 860399	0 004141	0 004756	0 193320	0 195822	11 00959	11 45133
53	0 741067	0 771918	0 005192	0 009367	0 382764	0 351315	13 50661	10 23017
54	0 824549		0 004900		0 359332		11 60510	
57	0 824549	0 911344	0 003652	0 005666	0 257731	0 275266	10 38011	9 72656
58	0 737754	0 778741	0 004135	0 005266	0 376604	0 429515	13 01365	11 52899
59	0 863813	0 803407	0 003597	0 007253	0 272086	0 268836	10 17831	9 85135
61	0 706756	0,781152	0 004685	0 005555	0 263913	0 269202	11,83982	10 27662
62	0 753873	0 749590	0 005790	0 006618	0 290014	0 276008	12 12662	11 27170
65		0 925104		0 007260		0 221437		10 04338
66	0 776046		0 007957		0 099472		10 73816	
69	0 938280	0 929492	0 007925	0 007809	0 933287	1 001471	9 63619	9 86455
72	0 857531		0 004582		0 244380		15 55882	
74	0 767022	0 824549	0 004807	0 006181	0 751737	0 563889	11 59484	11 64343

Razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$

Nas águas continentais, esta razão varia frequentemente entre 0,3 e 1,5. Os valores próximo de 1 indicam uma provável influência de terrenos dolomíticos ou com serpentina e valores superiores a 1 sugerem, em geral, relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos, como gabros e basaltos. Entretanto, é preciso observar que quando ocorre precipitação de CaCO_3 em uma água, aumenta a razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ sem que seja indicação dos litotipos atravessados. No caso da dissolução do calcário, ocorre uma diminuição desta razão.

A água do mar tem razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ em torno de 5 e, por isso, as águas que circulam em litologias de origem marinha ou que tenham sofrido mistura com a água do mar têm também esta razão elevada. O aumento do

conteúdo de cloretos e da razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ pode ser um bom indício de contaminação por água de origem marinha

Nos processos de troca iônica que produzem abrandamento da água, o cálcio fixa-se mais do que o magnésio, conseqüentemente haverá um aumento da razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ na água. Esta regra não é geral, pois o processo depende dos teores iniciais destes íons. Os processos de redução dos sulfatos provocam um crescimento da razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$, mas a presença simultânea de troca iônica $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ pode provocar a precipitação de CaCO_3 às custas do Mg^{2+} .

Em todas as amostras, a razão $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ apresenta valores próximos de 1 ($r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+} = 0,76 - 0,87$), que poderiam estar associados à precipitação de CaCO_3 , que provém da dissolução parcial de concreções de CaCO_3 (calcretes) vinculadas à Formação Libertad, suprajacente. Esta situação se faz mais evidente no poço 72 no inverno ($r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+} = 1,003$). Todos os valores correspondem com águas continentais.

Razão $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$

Nas águas doces, esta razão pode variar entre 0,001 e 1, sendo mais frequente entre 0,004 e 0,3 (SCHOELLER, 1955), enquanto que, para a água do mar, fica no intervalo de 0,02 a 0,025.

Devido à fixação preferencial de K^+ no terreno, esta razão é menor na água do que na rocha mãe e é tanto menor quanto mais concentrada em sais é a água.

Os trabalhos realizados na Ilha vulcânica de Lanzarote (CUSTODIO, 1974) indicam uma tendência a decrescer a razão $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$ conforme aumenta a salinidade, passando desde valores de 0,05 para águas com um resíduo

seco em torno de 1 000 mg/L, a valores de 0,02, para águas com um resíduo seco de mais de 4 000 mg/L. No geral, esta razão tende a diminuir, conforme aumenta a salinidade.

Se existem aportes artificiais de K^+ , pode-se seguir sua diminuição no sentido do fluxo e então esta relação pode ser interessante (CUSTODIO, 1965).

Os valores obtidos para as amostras analisadas da razão rK^+/rNa^+ são muito baixos, sendo a média de $rK^+/rNa=0,008$ pois, o potássio, geralmente, é fortemente retido pelas argilas o que determina que sua concentração nas águas subterrâneas seja baixa. Esta situação, somado o fato das águas do aquífero apresentar uma concentração de sódio importante e uma média de STD 1144,5 mg/L, fazem diminuir ainda mais esta razão, que é típica de águas doces.

Razão $rCl^-/rHCO_3^-$

Como o conteúdo em HCO_3^- é relativamente constante nas águas subterrâneas, esta razão presta-se para seguir o processo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo. Ainda que essa concentração faça crescer ligeiramente o denominador, um aumento na razão $rCl^-/rHCO_3^-$ indica um avanço no processo de concentração. Se existem fenômenos de redução de sulfatos, ou aportes exteriores de CO_2 , pode haver aumento do conteúdo de HCO_3^- e neste caso, não convém utilizar esta razão se não forem tomadas as devidas precauções. A precipitação de $CaCO_3$ também pode influir nesta razão. A razão $rCl^-/rHCO_3^-$ é muito útil para caracterizar a intrusão marinha, já que as águas continentais têm normalmente valores entre 0,1 e 5 e na água do mar os valores variam entre 20 e 50. Se o aumento de cloretos é devido à

concentração de sais nas zonas de recarga, a razão $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$ cresce muito menos para igual aumento de cloretos quando ocorre uma intrusão marinha

A razão $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$, para as amostras estudadas apresenta valores médios de 0,25, os quais correspondem a águas continentais. O poço 69 apresenta um incremento nesta razão na primavera que tem correspondência com um maior conteúdo de cloretos nas águas (327 mg/L) e uma diminuição dos bicarbonatos (479 mg/L), porém seu valor é mantido dentro da categoria de águas continentais, o que gera uma controvérsia em torno da hipótese da entrada ou não da cunha salina

4.1.4.3 Classificação Geoquímica da Água

A classificação geoquímica adotada neste trabalho foi a de íons dominantes, complementada pela medida da condutância específica, para a avaliação do grau de mineralização das águas. Foi utilizado o software Aquachem da Waterloo Hydrogeologic's para obter os resultados

As águas se classificam 63,5% como bicarbonatadas sódicas, 31,74% como bicarbonatadas sódico cloretadas, e 4,76% correspondem a amostras com dados anômalos como as do poço 27, no inverno e primavera e do poço 69 na primavera

Os diagramas de Piper correspondentes estão apresentados nas FIGURAS 19, 20 e 21, e as classificações individuais encontram-se na TABELA 9

FIGURA 19 DIAGRAMA DE PIPER PARA INVERNO

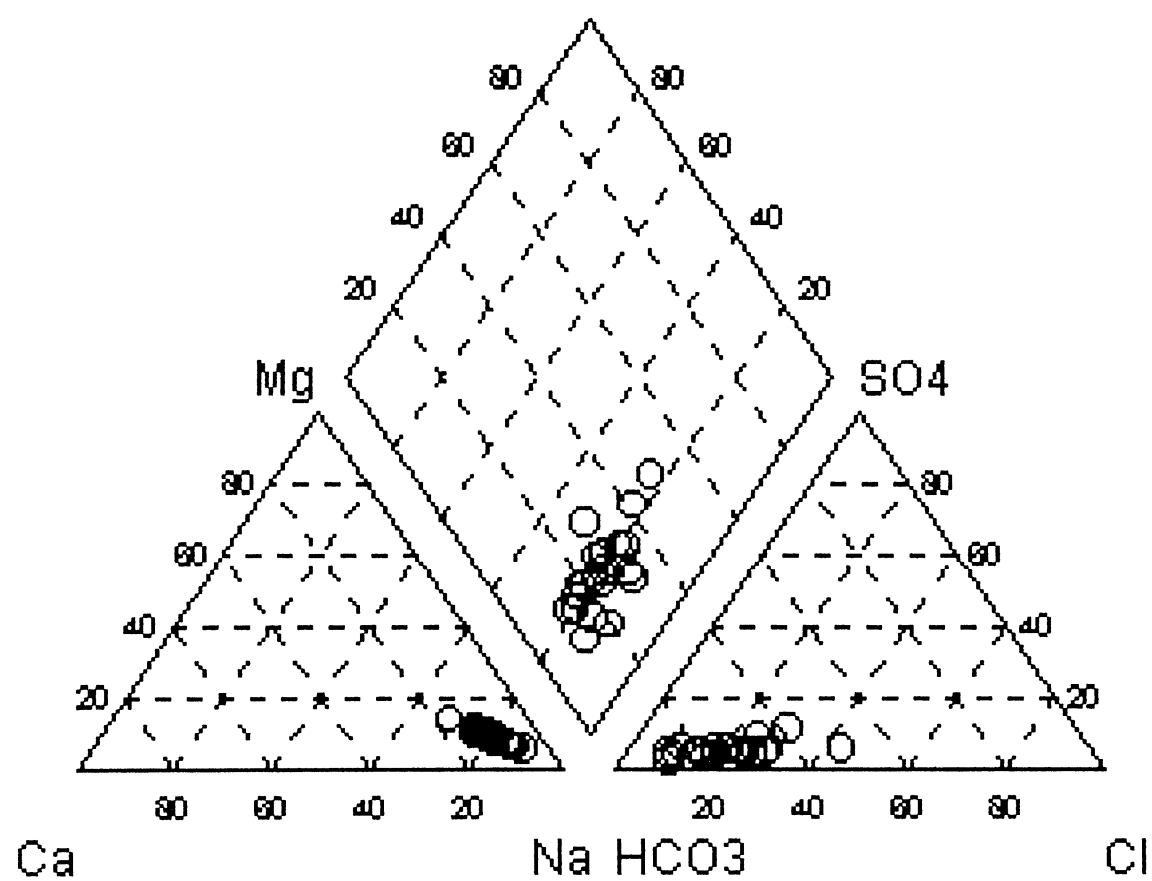


FIGURA 20 DIAGRAMA DE PIPER PARA PRIMAVERA

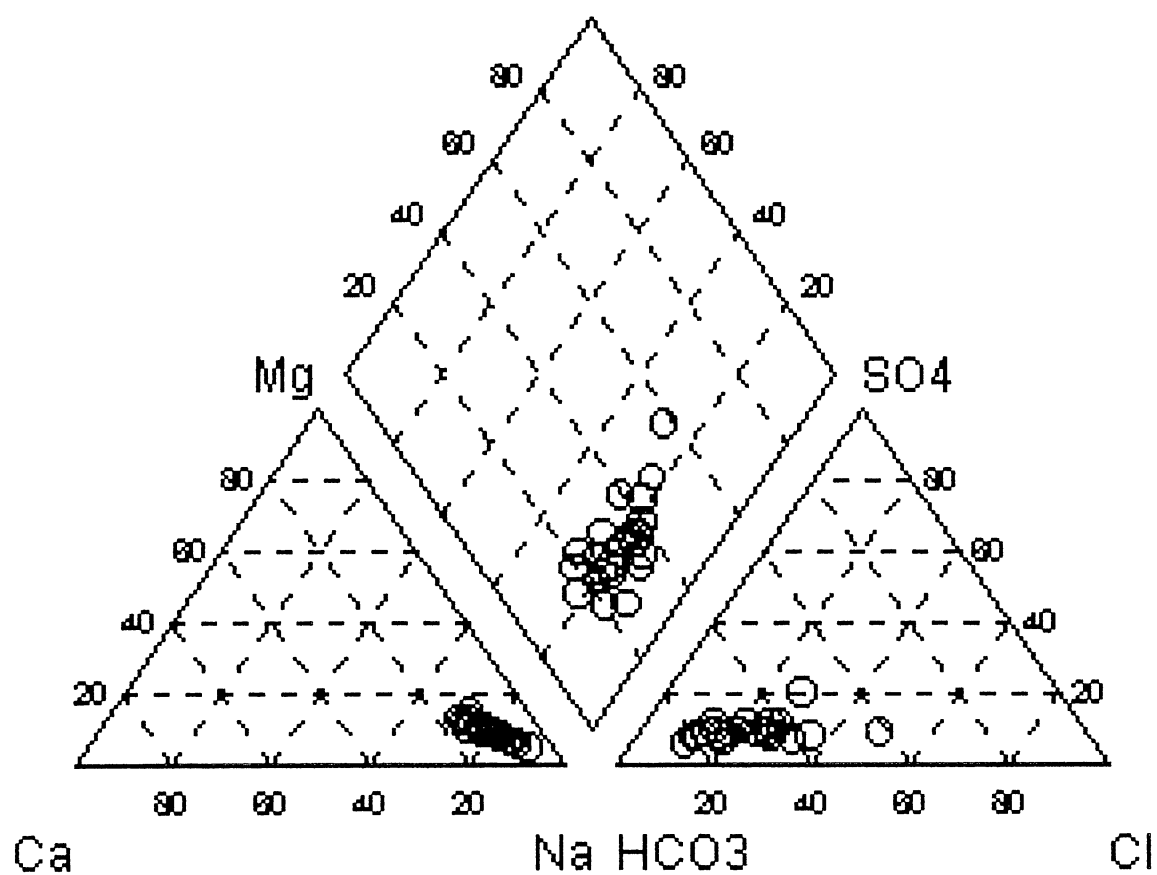


FIGURA 21 DIAGRAMA DE PIPER PARA VERÃO

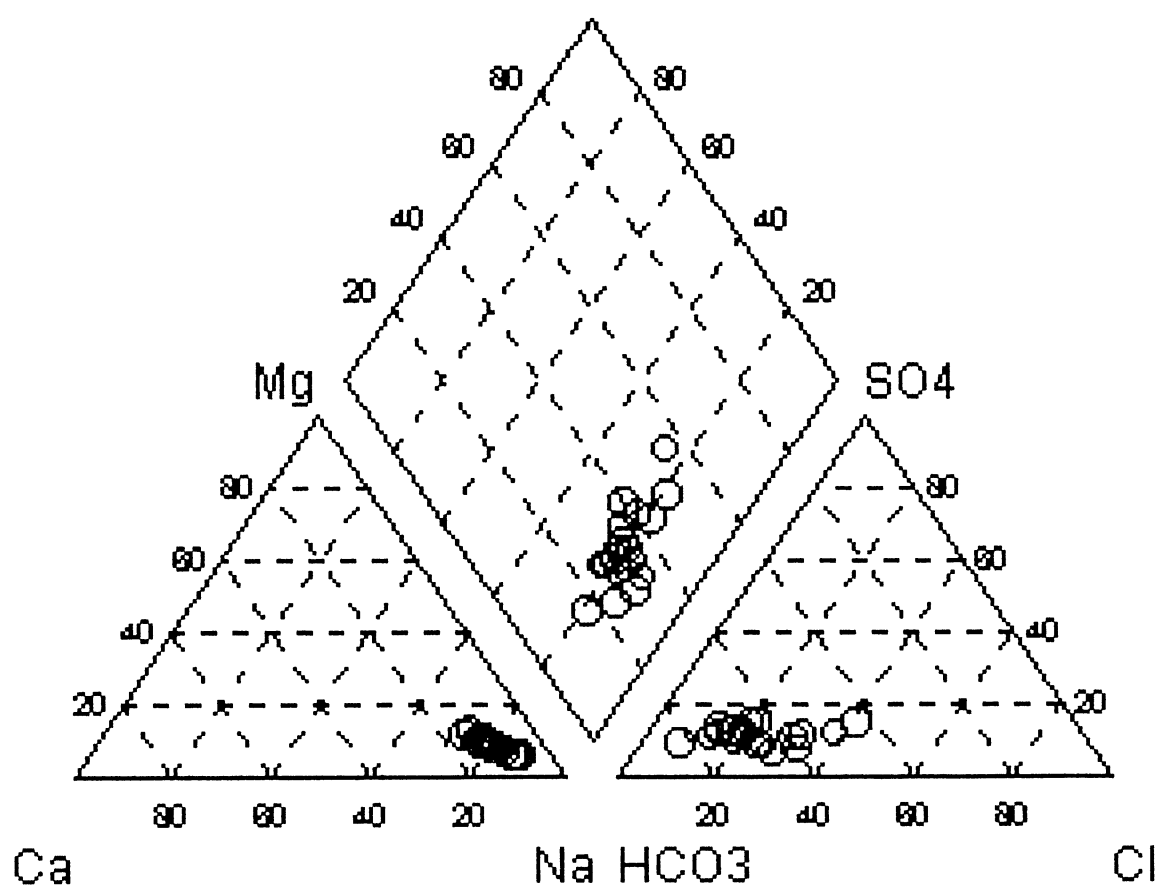


TABELA 9 CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES AMOSTRADAS

Database aquachem files\PE-WINTER HC3

20	PE-20	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
27	PE-27	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -NO ₃ -Cl
30	PE-30	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
32	PE-32	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
33	PE-33	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
36	PE-36	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
42	PE-42	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
46	PE-46	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
47	PE-47	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
49	PE-49	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
53	PE-53	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
54	PE-54	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
57	PE-57	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
58	PE-58	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
59	PE-59	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
61	PE-61	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
62	PE-62	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
65	PE-65	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
66	PE-66	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
69	PE-69	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl
72	PE-72	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃
74	PE-74	MVD-UY	Inverno	Na-HCO ₃ -Cl

Database aquachem files\PE-SPRING HC3

B20	PE-20	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B27	PE-27	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -NO ₃
B30	PE-30	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B32	PE-32	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B33	PE-33	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B36	PE-36	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B42	PE-42	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl
B46	PE-46	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B47	PE-47	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl
B49	PE-49	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B53	PE-53	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl
B54	PE-54	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl
B57	PE-57	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B58	PE-58	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B59	PE-59	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B61	PE-61	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B62	PE-62	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B65	PE-65	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl
B66	PE-66	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B69	PE-69	MVD-UY	Primavera	Na-Cl-HCO ₃
B72	PE-72	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃
B74	PE-74	MVD-UY	Primavera	Na-HCO ₃ -Cl

Database aquachem files\PE-SUMMER HC3

C20	PE-20	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C27	PE-27	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl
C30	PE-30	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C32	PE-32	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C33	PE-33	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C36	PE-36	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C42	PE-42	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl
C46	PE-46	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C53	PE-53	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl
C54	PE-54	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl
C57	PE-57	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C58	PE-58	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C59	PE-59	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C61	PE-61	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C62	PE-62	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C66	PE-66	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C69	PE-69	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl
C72	PE-72	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃
C74	PE-74	MVD-UY	Verão	Na-HCO ₃ -Cl

4.1.5 Qualidade das águas

A Organização Mundial da Saúde (O M S) no seu “International Standards of Drinking Water” (O M S, 1936) divide em quatro grupos as características a levar em conta na hora de determinar a qualidade de uma água. Em relação a esta norma, neste trabalho foram analisadas as substâncias químicas que afetam a potabilidade das águas e as substâncias químicas que podem afetar a saúde. Conforme esta norma, aquelas águas que não correspondam com alguma das condições indicadas deve ser classificada como Não Potável.

Por outro lado, as normas de potabilidade que estão em vigência no Uruguai tem sido elaboradas pela empresa estatal dedicada ao abastecimento de água potável “Obras Sanitarias del Estado” (O S E). Foram feitas concordando com as “Guías para la Calidad de Agua Potable” da Organização Mundial da Saúde (O M S, 1936) e a Organização Pan-americana da Saúde (1984-1985) com base às possibilidades do país para a aplicação das mesmas. Esta norma (O S E , 1986) inclui, além de recomendações para os trabalhos de amostragem, que são parte da metodologia utilizada no presente trabalho, critérios de qualidade.

Neste trabalho, tem se considerado os limites para componentes químicos e características físicas que podem afetar a qualidade das águas e a concentração do íon nitrato inclusa entre os componentes inorgânicos que podem afetar a saúde. Segundo esta norma, aquela água que não se enquadre com alguma das condições indicadas deve ser classificada como Não Aceitável.

Potabilidade das águas analisadas

Todas as amostras do aquífero fissurado de Punta Espinillo apresentam uma concentração do íon sódio que supera o limite máximo permitido de 200 mg/L, segundo as duas normas consideradas

Em relação ao conteúdo de nitrato, é baixa a percentagem de poços que se encontram dentro da faixa de concentrações admissíveis, ou seja, abaixo do limite de 45 mg/L, 18% para o inverno, 22% para a primavera e 28% para o verão, atingindo o poço 27 os valores mais elevados com 314 mg/L no inverno

Os altos conteúdos de nitrato se associam-se principalmente ao uso abusivo de adubo orgânico, e em menor quantidade de fertilizantes nitrogenados, vinculados a um manejo intensivo das parcelas, à prática rotineira de irrigação e à falta de assessoramento técnico na hora de dosar os mesmos

Não obstante, situações puntuais (poço 27) estão vinculadas com uma fazenda de criação de animais (frangos) que produzem quantidades consideráveis de rejeitos orgânicos nitrogenados, concentrados nos locais de confinamento de animais, que causam a contaminação do aquífero freático pela lixiviação, desses rejeitos orgânicos, por água de chuva

A respeito ao íon cloreto, as amostras apresentam, em geral, concentrações altas, porém não ultrapassam o limite de potabilidade de 200 mg/L para a O M S e 300 mg/L para a O S E , excetuando o poço 69 que na primavera alcança valores de 327 mg/L e em outras épocas se encontra muito perto do limite nacional com 296 mg/L no inverno, 276 mg/L no verão

O conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) também é muito

elevado, ultrapassa o limite permitido de 500 mg/L pela O M S e 1000 mg/L pela O S E. Em todas as estações, observa-se que a maioria dos poços apresentam concentrações acima de 800 mg/L, quando se encontram abaixo do limite nacional. Somente nos dados de inverno foram encontrados 3 poços com valores inferiores a 800 mg/L, porém, muito superiores aos 700 mg/L.

Em resumo, com referência às normas da O M S, para águas destinadas a consumo humano, as águas do aquífero de Punta Espinillo devem qualificar-se como Não Potáveis, e segundo os critérios estabelecidos pela norma nacional, como Não Aceitáveis.

Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

Esta razão, conhecida na literatura da língua inglesa como *SAR* (*Sodium Adsorption Ratio*) é utilizada, juntamente com a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C), para a classificação da água para fins de irrigação, indicando se a água é apropriada ou não para tais fins. Quanto maior o *RAS* menor apropriada ela será para fins de irrigação. O *RAS* é uma razão que indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo e é calculado através da seguinte equação:

$$SAR = \frac{rNa}{\frac{\sqrt{rCa + rMg}}{2}}$$

Ao combinar os dois fatores, perigo de salinização do solo (CE) e de alcalinização do solo (RAS) surgem 16 categorias de água de irrigação. Nas FIGURAS 22, 23 e 24 apresentam-se a classificação dos poços amostrados para as diferentes estações segundo estas categorias. Os valores do índice RAS se encontram nas TABELAS 7 e 8.

FIGURA 22 PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS - INVERNO

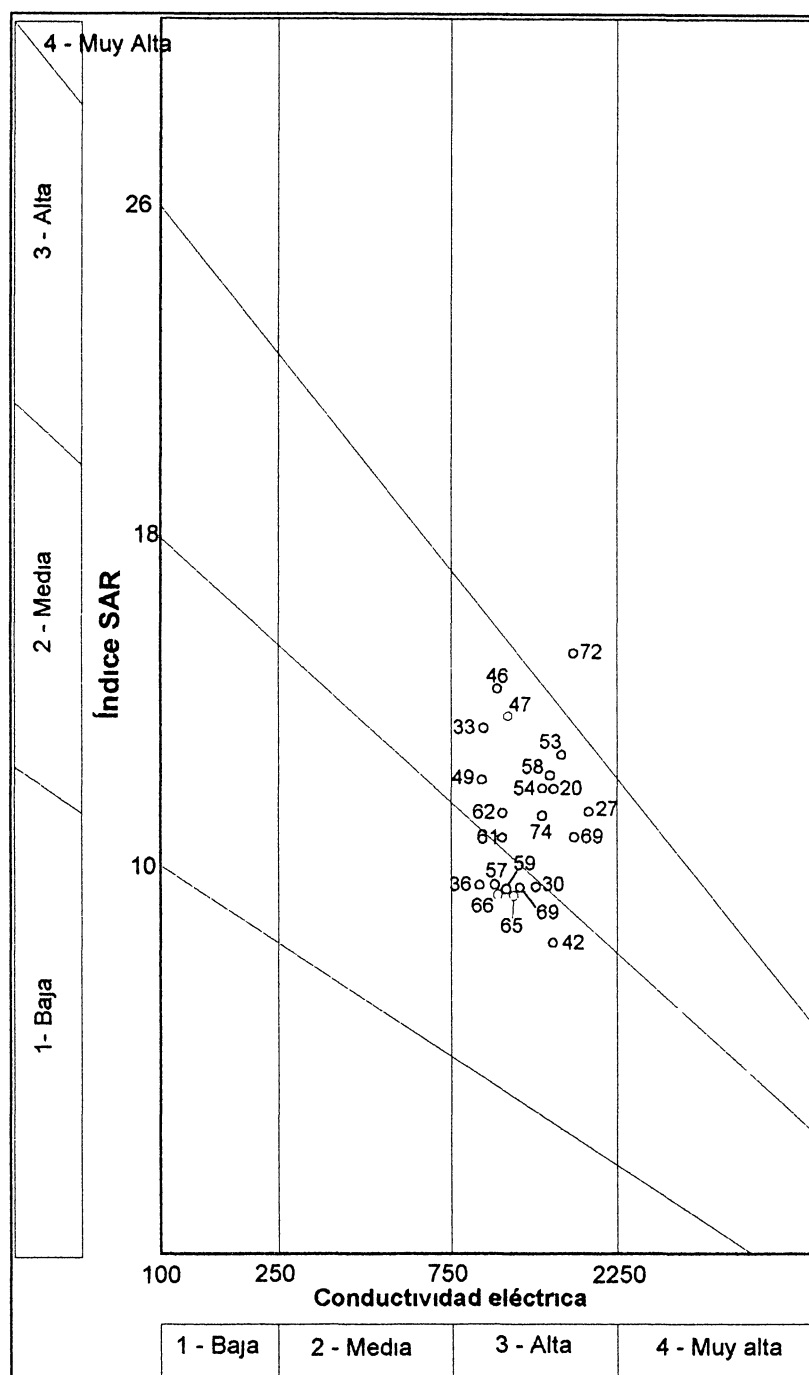


FIGURA 23 PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS – PRIMAVERA

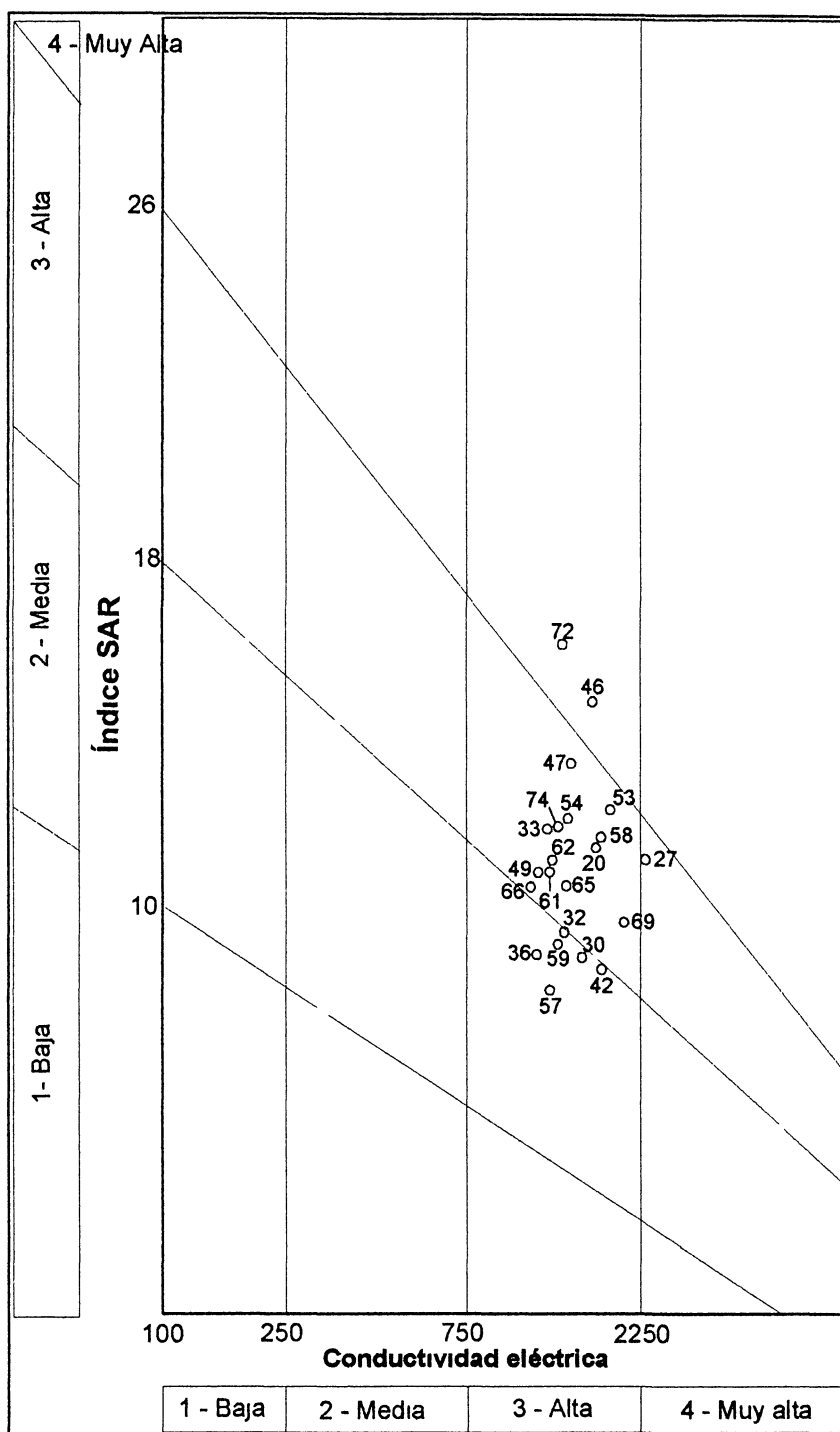
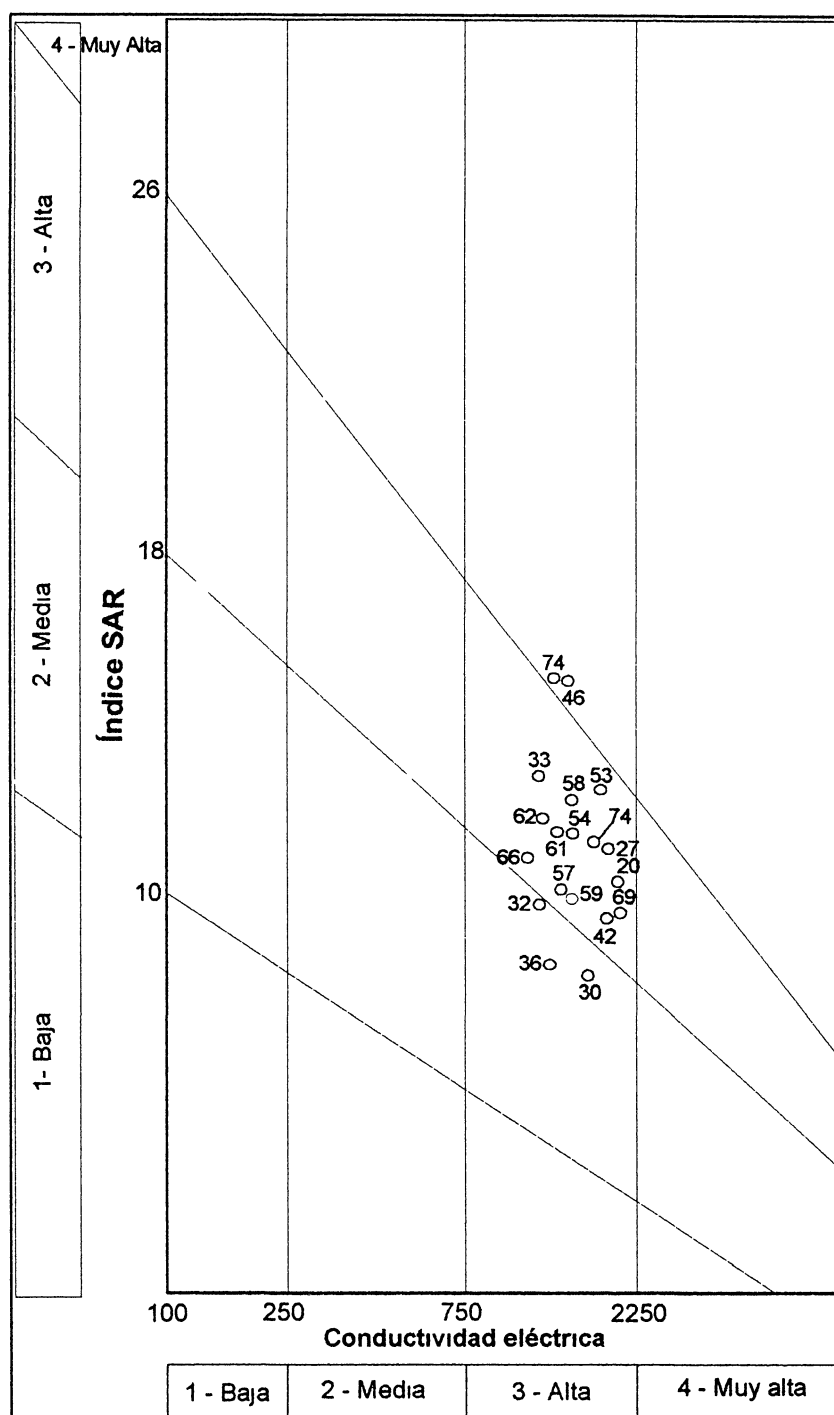


FIGURA 24 PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS - VERÃO



Aptidão para irrigação da água analisada

Aproximadamente, 60 % das amostras nas diferentes épocas apresentam perigo de salinização S3 que corresponde a águas salinas, que não podem utilizar-se em solos com drenagem deficiente, existindo possibilidade de salinização, ainda com drenagem adequada. As plantas cultivadas têm que ser muito tolerantes aos sais.

Dez por cento das amostras nas diferentes épocas, apresentam perigo de salinização S4, que define uma água altamente salina, não apropriada para utilizar em condições ordinárias de irrigação. Pode utilizar-se com um cultivo selecionado, em solos permeáveis, com boa drenagem, e com excesso de água para conseguir um bom lixiviado.

Com referência ao perigo de alcalinização do solo a classificação se encontra a seguir:

TABELA 10 CLASSIFICAÇÃO EM BASE AO PERIGO DE ALCALINIZAÇÃO E PORCENTAGEM DE POÇOS AFETADOS EM CADA ESTAÇÃO

Estações	Porcentagem de poços por estação, referidos ao Perigo de Alcalinização			
	S1	S2	S3	S4
Inverno	0	8 (36%)	13 (59%)	1 (5%)
Primavera	0	6 (27%)	14 (64%)	2 (9%)
Verão	0	3 (17%)	13 (72%)	2 (11%)
Outono	0	14 (87%)	2 (13%)	0

As características destas categorias são:

S2 água com conteúdo médio de sódio. Pode apresentar perigo em condições de drenagem deficiente, em terrenos de textura fina, com alta capacidade de intercâmbio catiônico.

S3 água alta em sódio. Na maior parte dos solos pode alcançar-se um limite de toxicidade do sódio inter-trocável, o que faz necessário uma boa drenagem, lixiviação intensa e adições de matéria orgânica.

S4 água muito alta em sódio. Em geral não adequada para irrigação.

exceto com salinidades médias a baixas, sempre que seja possível seu emprego com a dissolução de cálcio no solo, o uso de gesso ou outras substâncias (CUSTODIO & LLAMAS, 1983)

Conforme às considerações precedentes e em termos gerais, as águas do aquífero de Punta Espinillo apresentam restrições importantes para seu uso agrícola, devido ao alto risco de salinização e alcalinização do solo

O conteúdo elevado de íons dissolvidos nas águas representa o perigo de salinização, pois os solos salinos restringem a absorção de água pela plantas gerando um efeito nocivo nos cultivos.

Estas águas não devem ser utilizadas em solos com drenagem deficiente, e ainda com drenagem adequada apresentam restrições o que fica agravado pela textura fina dos solos da área

Os cultivos que podem se desenvolver nestas condições devem apresentar alta tolerância a sais como uva, alface, milho verde, cenoura e cebola (MORALES, 2002) , que são os produtos que estão sendo escolhidos por alguns produtores

4.2 HIDROGEOLOGIA

4.2.1 O embasamento Pré-Cambriano

O reconhecimento das grandes unidades hidrogeológicas está baseado essencialmente nas relações geológicas e geomorfológicas. Estas unidades estão diferenciadas enquanto ao meio físico, tipo de ocorrência da água, tipo de depósito e condições de circulação.

Na região se distingue uma única unidade hidrogeológica, que está constituída por rochas do embasamento Pré-Cambriano.

Não se consideram as Formações Fray Bentos e Libertad como unidades hidrogeológicas por estarem formadas por sedimentos de granulação muito fina de baixa permeabilidade que não apresentam importância como fonte. Também não foram consideradas as Formações Atuais de alta permeabilidade como dunas e areias costeiras, por sua expressão reduzida na área de trabalho.

4.2.1.1 O Sistema Fissurado

Na maioria da área a água subterrânea se armazena e circula principalmente nas discontinuidades das rochas. Os níveis alterados são de pouca espessura, até um máximo de 5 metros, sem apresentar importância hidrogeológica. Nestas regiões as estruturas de drenagem geralmente estão vinculadas aos sistemas de fraturas. Devido ao fato da maioria do embasamento estar coberto por sedimentos de baixa permeabilidade (Fm Libertad), a recarga acontece pela infiltração das águas dos arroios e riachos associados às fraturas.

4 2 1 1 1 Análise tectono-estrutural

A metodologia aplicada no análise estrutural foi o estudo de fotolineamentos que permitiu reconhecer o padrão de fraturamento

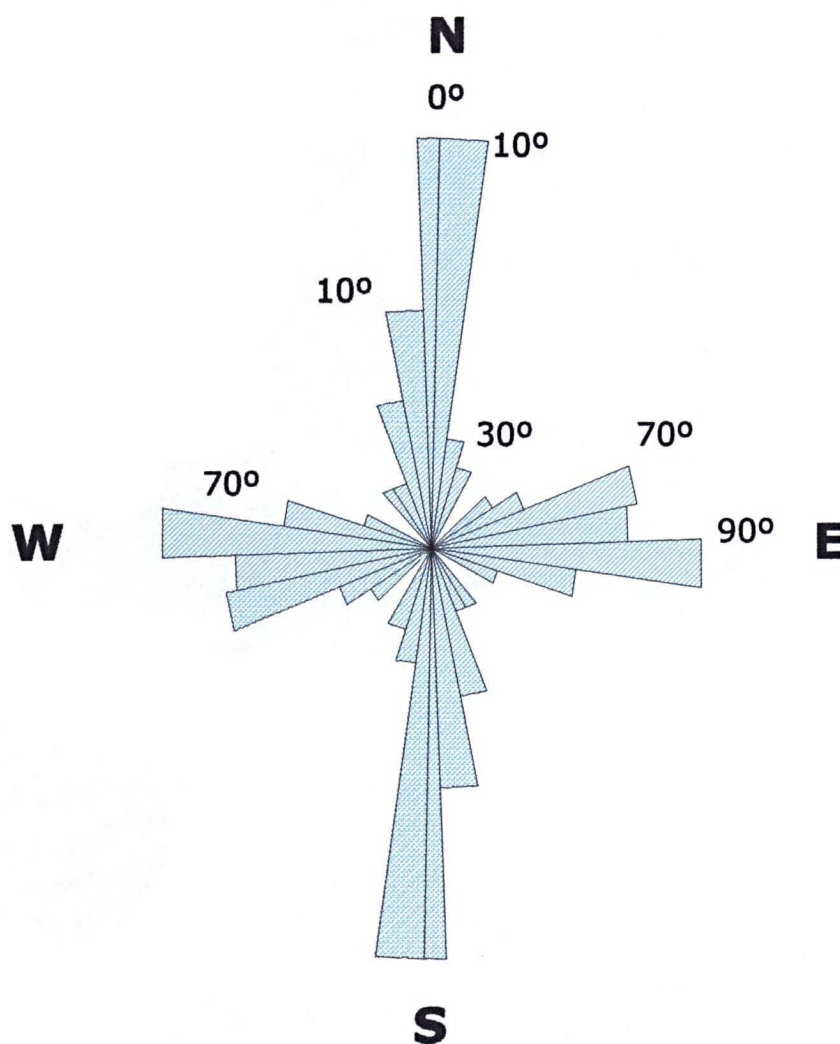
O processamento da informação foi feito na base nos comprimentos e frequências dos lineamentos, representadas num diagrama de “rosas dos ventos” na FIGURA 25, feita com 192 dados plotados com o software STERIONETT (DUYSTER, 2000)

No registros tectônicos podem ser apreciadas várias etapas de deformação. Tais eventos afetarão principalmente as rochas do embasamento e controlaram os processos deposicionais sedimentares

O evento orogênico trans-amazônico afeta à Formação Montevideo, gerando deformações em regime dúctil-rúptil. A direção principal deste fenômeno é NS e a complementar é EW

Não foi possível distinguir apropriadamente a deformação em regime rúptil neste evento, por causa dos vários eventos posteriores superimpostos. Porém, CARDELINO & FERRANDO (1969), têm estimado que seriam de direção N30/40W, por estarem preenchidas por filões pegmatíticos. Isto implica em uma fase distensiva ao final do orógeno, em regime dúctil-rúptil, porque alguns destes filões ou veios mostram dobras e formas irregulares

FIGURA 25 DIAGRAMA DE FREQUÊNCIAS OU "ROSA DOS VENTOS"



Nº de dados = 192

Tipo de dados: atitude

Frequência dos intervalos: 10°

Desvio Padrão (R) = 0.17

Software: STERONETT 2.46 (DUYSTER, 2000)

A fraturação N70E com mergulhos variáveis de 75 a 90 graus para noroeste, constitui a principal direção do Lineamento SaLAM no qual está incluída a bacia *pull apart* de Santa Lucía de idade Cretácea (VEROSLAVSKY, 1999) que forma parte do limite norte da área de estudo

É o evento regional mais importante, sendo os lineamentos restantes, lineamentos conjugados e subsidiários a ela. Paralelamente a esta bacia, tem-se formado outras menores, geradas pelo afundamento ou soerguimento de blocos que foram produzidos pelos sistemas de falhamentos listricos associados à gênese e evolução transpressional-transtensional do Lineamento SaLAM e às suas reativações durante o Terciário inferior (VEROSLAVSKY, 1999)

4.2.2 Classificação Hidrogeológica do Embasamento

A capacidade de armazenamento nas rochas ígneas e metamórficas dependerá exclusivamente do volume e da porosidade de fratura ou porosidade secundária. Por sua vez, a porosidade depende da história tectônica da área e dos processos de alteração. Estes fatores estão influenciados pelas condições geológicas, topográficas e climáticas.

Para a análise destas características foi definida a nomenclatura exposta a seguir:

4.2.2.1 Rochas compactas ou secas aquífugas

Trata-se de rochas massivas com fraturação baixa ou ausente, e por tanto sem possibilidades de armazenamento de água. A dureza delas permite a transmissão da tensão às rochas vizinhas, sem fraturar-se.

4 2 2 2 Rochas dúcteis aquitardos

São principalmente rocha com baixa capacidade de armazenamento como os mica-xistos. As fraturas, quando existem, encontram-se preenchidas por materiais de alteração.

4 2 2 3 Rochas rúpteis aquíferos

Correspondem às rochas intrusivas como granitos, granodioritos e pegmatitos, e rochas metamórficas de grau médio a alto como gnaisses e anfibolitos. Estas duas últimas litologias são as mais frequentes e apresentam um alto fraturamento permitindo a circulação e o armazenamento de água.

4 2 3 Armazenamento de água em função do tipo tectônico

Podem-se distinguir três tipos de fraturas que definem a magnitude do armazenamento no meio descontínuo.

4 2 3 1 Diaclases de tensão ($a=1$)

Derivam da deformação plástica que gera fraturamento com baixa a inexistente interconexão entre elas, limitando a capacidade de armazenamento. Este tipo de tectônica desenvolve aquíferos pobres.

4 2 3 2 Fraturas de tensão ($a=2$)

Geralmente têm grande capacidade de armazenamento e circulação, formam redes de fraturas inter-conectadas que geram grandes espaços. São as mais frequentes na região.

4.2.3.3 Interconexão de fraturas

A importância de uma grande interconexão entre as fraturas é fundamental para desenvolver um bom aquífero. Se gerará um sistema contínuo de famílias de fraturas, que serão desenvolvidas por um ou vários eventos tectônicos.

Existem situações onde os blocos fraturados produzem materiais de alteração que em função da rocha mãe e do processo de alteração podem aportar diferentes produtos que terão consequências na porosidade e continuidade do sistema.

Se foram gerados materiais argilosos, a partir dos xistos, se produz um preenchimento das fendas por materiais de baixa permeabilidade, diminuindo a permeabilidade e desenvolvendo aquíferos pobres.

Uma alternativa é o desenvolvimento de espaços livres que apresentam materiais de preenchimento arenoso de alta permeabilidade, gerando um grande volume de armazenamento, como acontece nos gnaisses. Tem-se observado a redução da porosidade de fratura em função de número de eventos tectônicos que sofre um bloco rochoso.

Resumindo, as características hidrogeológicas do embasamento na área de trabalho são:

1 - As rochas que formam bons aquíferos são os gnaisses, já que apresentam um intenso fraturamento, pouco preenchimento das fraturas, e quando estão preenchidas é por materiais arenosos gerando boa “permeabilidade de fratura”, o que facilita o armazenamento e circulação da água subterrânea.

2 - Os para-anfibolitos, desenvolvem um bom fraturamento, porém apresentam um maior preenchimento das fraturas por materiais argilosos.

devido ao alto número de eventos tectônicos que as afetaram. Esta situação determina que exista circulação e armazenamento, mas uma menor “permeabilidade de fratura” gerando como resultado poços, com menores vazões que os gnaisses.

3 - Os mica-xistos apresentam menor abertura das fraturas e sua alteração produz argila, a qual preenche as fendas, limitando a circulação das águas subterrâneas.

Hidrogeologicamente, estas rochas podem considerar-se como aquíferos pobres, ou aquitardos quando alternam com outras rochas metamórficas como gnaisses ou anfibolitos.

4.2.3 Capacidade de armazenamento e rendimento dos poços

Em rochas do embasamento é muito difícil de prever o rendimento e a capacidade de armazenamento do reservatório.

Por esta situação, a caracterização do meio fissurado está baseada na análise dos dados de profundidade dos poços, nível estático, nível dinâmico, vazão e vazão específica, que se encontram nas planilhas de dados hidráulicos no ANEXO III.

4.2.3.1 Profundidade

A profundidade máxima registrada foi de 91 m, a mínima de 38 m, e a média de 55 m.

De modo geral, os poços estão perfurados em diâmetros de 8” até 10”-15” nos primeiros metros e logo continuam em 6” até o final. Os tubos são de ferro.

FIGURA 26 PROFUNDIDADE DOS POÇOS ESTUDADOS

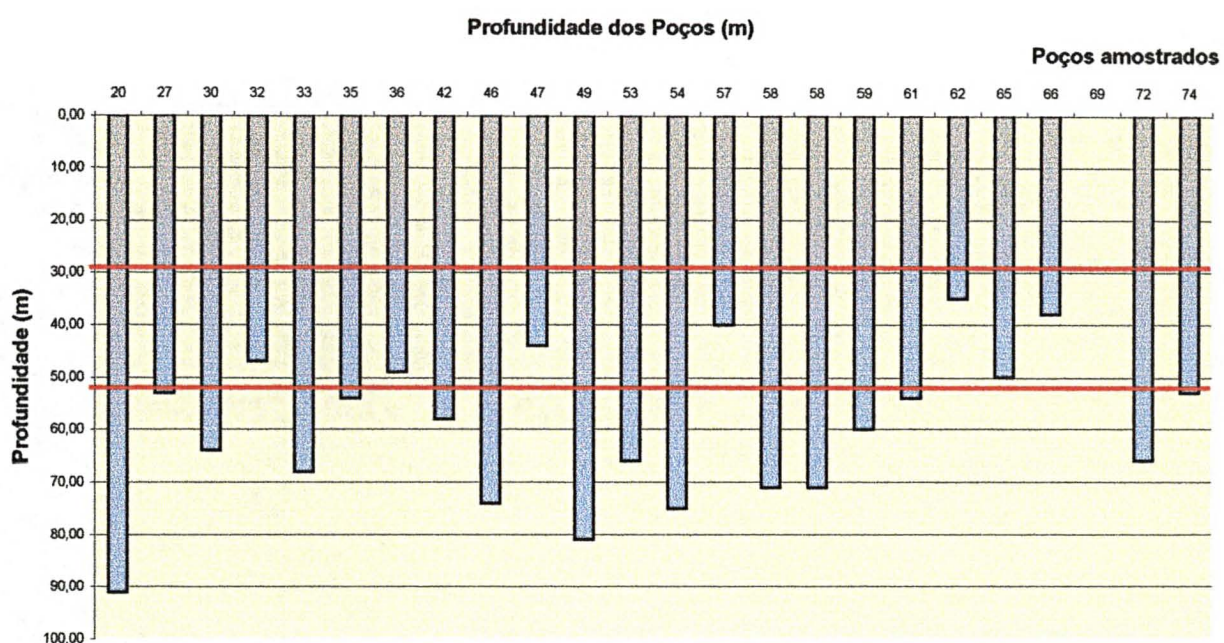
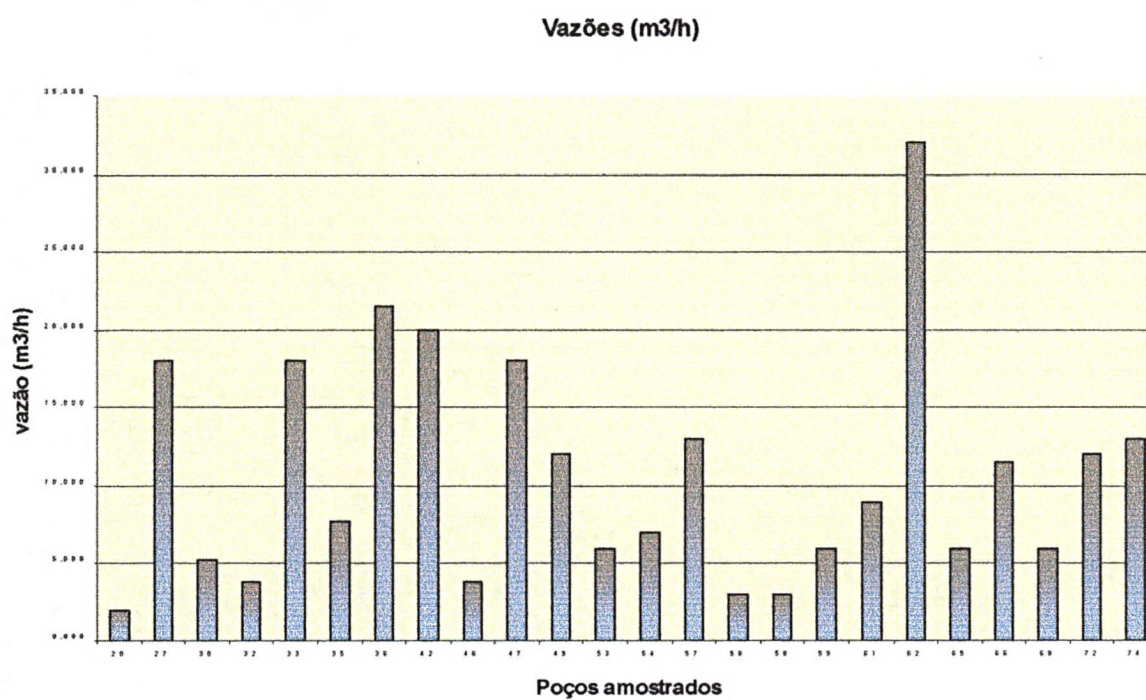


FIGURA 27 VAZÕES DOS POÇOS ESTUDADOS



MONTAÑO *et al* (2000) sugerem que a profundidade mais frequente das fendas de captação se encontra entre os 30 e 50 m. Abaixo desta faixa as possibilidades de encontrar fraturas abertas são muito baixas, o que é congruente com a análise das profundidades dos poços (FIGURA 26) com as vazões

4.2.3.2 Vazão

A vazão máxima alcançada é de 32 m³/h, a mínima de 2 m³/h, sendo a média de 10,7 m³/h, os valores mais frequentes se encontram entre 3 e 10 m³/h. Os valores para cada poço encontram-se na FIGURA 27

Se for considerada uma vazão média de 10,7 m³/h, nos 22 poços estudados, num período de 8 horas de bombeamento, estão sendo extraídos 1883,2 m³/8h do sistema aquífero

Esta extração intensa, somado ao fato de alguns poços estarem muito próximos, pode gerar uma sobre-exploração do sistema. Em anos anteriores, situações similares aconteceram, mas o volume extraído no mesmo tempo de bombeamento tem aumentado cerca de 64% num período de três anos, variando de 1144 m³/h no ano 2000 (MONTAÑO *et al*, 2000) para 1883 m³/h em 2003

Esta situação tem levado à redução pronunciada dos níveis estáticos (STAFF *et al*, 2001, MONTAÑO *et al*, 2003) e, como já foi constatado anteriormente, ao esgotamento de alguns poços que possuíam vazões médias de 10 m³/h (MONTAÑO *et al*, 2002)

4 2 3 3 Vazão específica

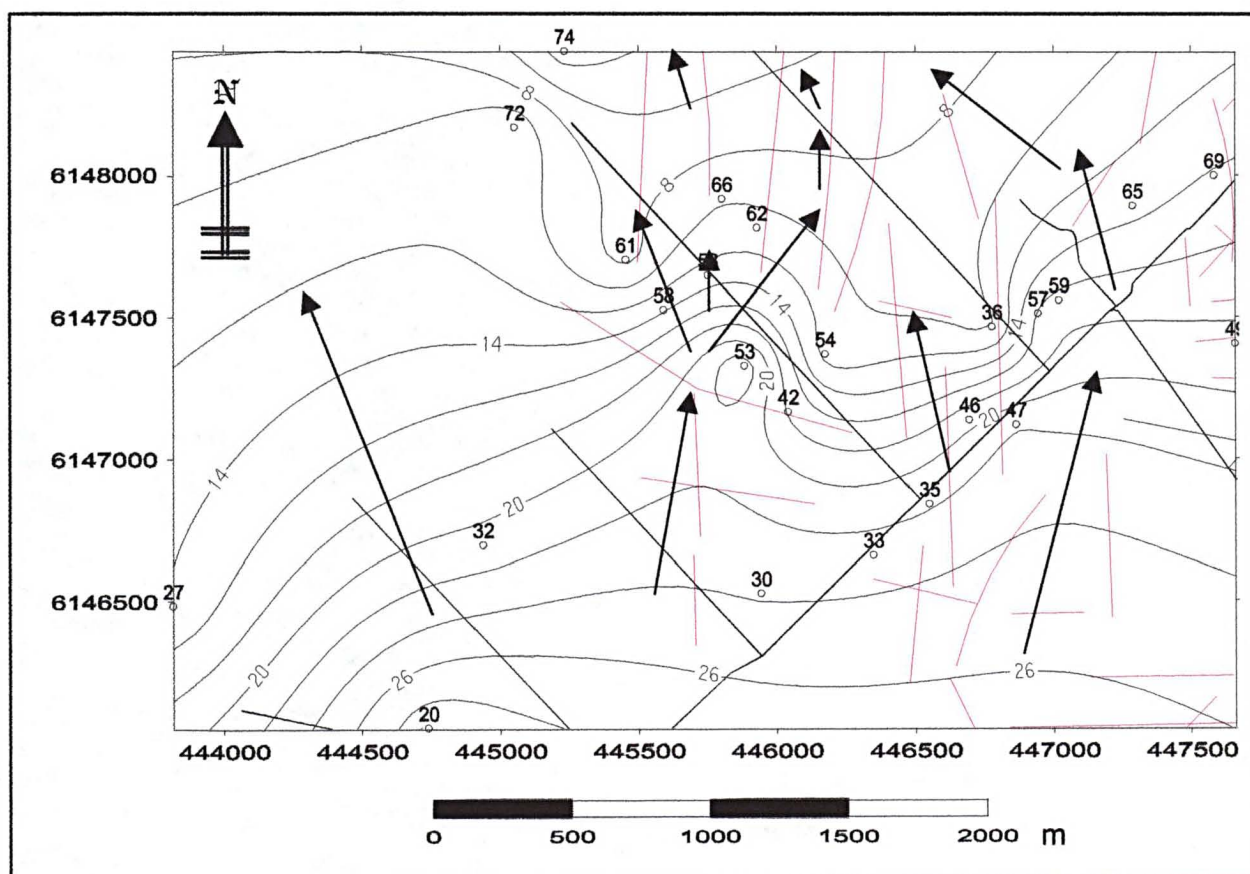
As principais características do embasamento são a heterogeneidade e a anisotropia, assim é pouco frequente que num mesmo sistema fraturado, os aportes das águas sejam gerados por estruturas semelhantes. Por esta causa, não foi possível vincular as orientações das fraturas com a vazão específica.

4 2 3 4 Evolução dos níveis potenciométricos

Os resultados obtidos foram representados em mapas de curvas nas FIGURAS 28, 29 e 30. As curvas apresentam diferentes configurações nas diferentes estações, porém, todas exibem um padrão de fluxo preferencial na direção NS sentido N, que concordam com as direções do ciclo orogênico trans-amazônico. O sentido do fluxo é para norte e subordinadamente para noroeste. É destacável que o sentido do fluxo, na maioria, provém de áreas continentais e não marinhas.

Também registra-se outras direções, subordinada à anterior, com atitude N70W sentido NW e N70E sentido SW que são de idade cretácea. Estas direções também apresentam um sentido do fluxo desde o continente.

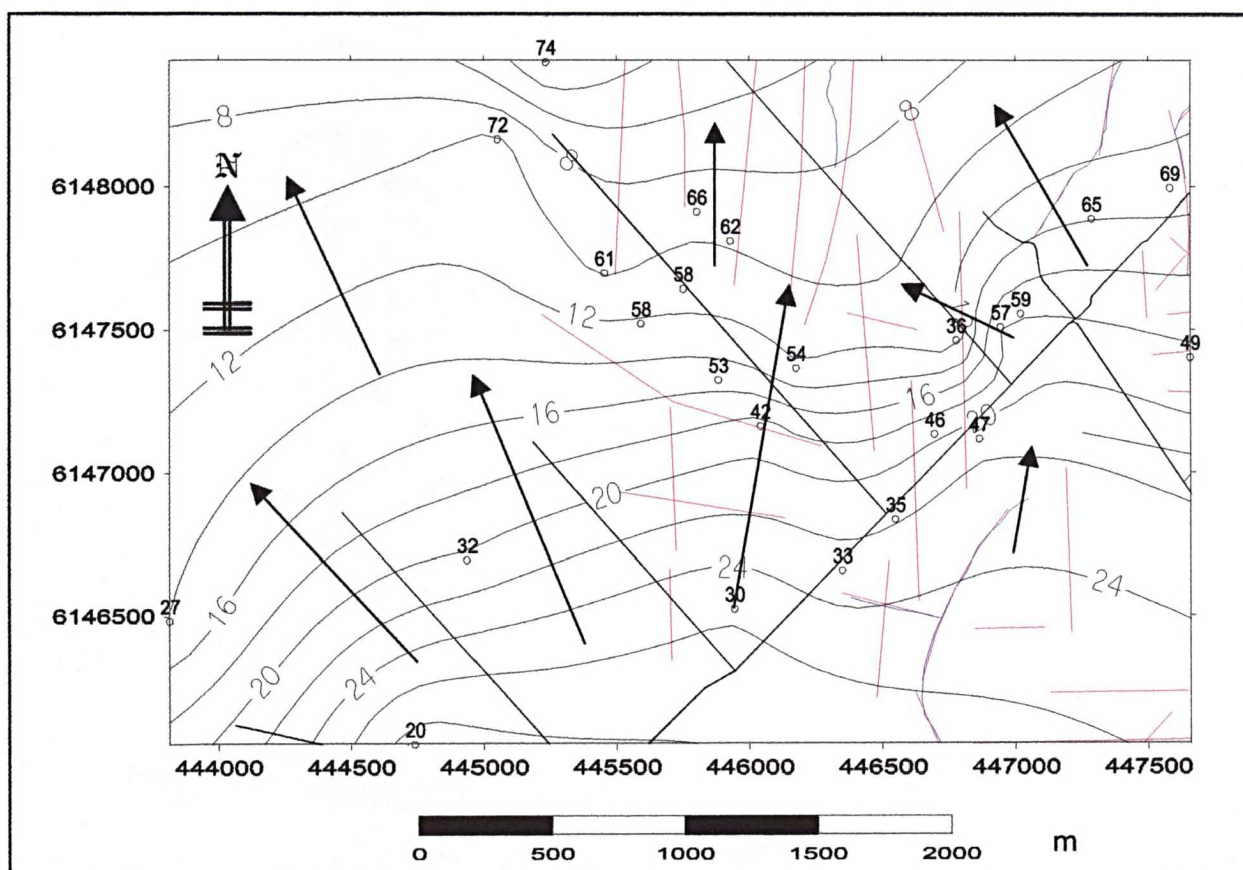
FIGURA 28 CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS DE INVERNO



Convenções:

direção do fluxo	→
fraturas	—
curvas de nível	— 20 —
poços	45 o

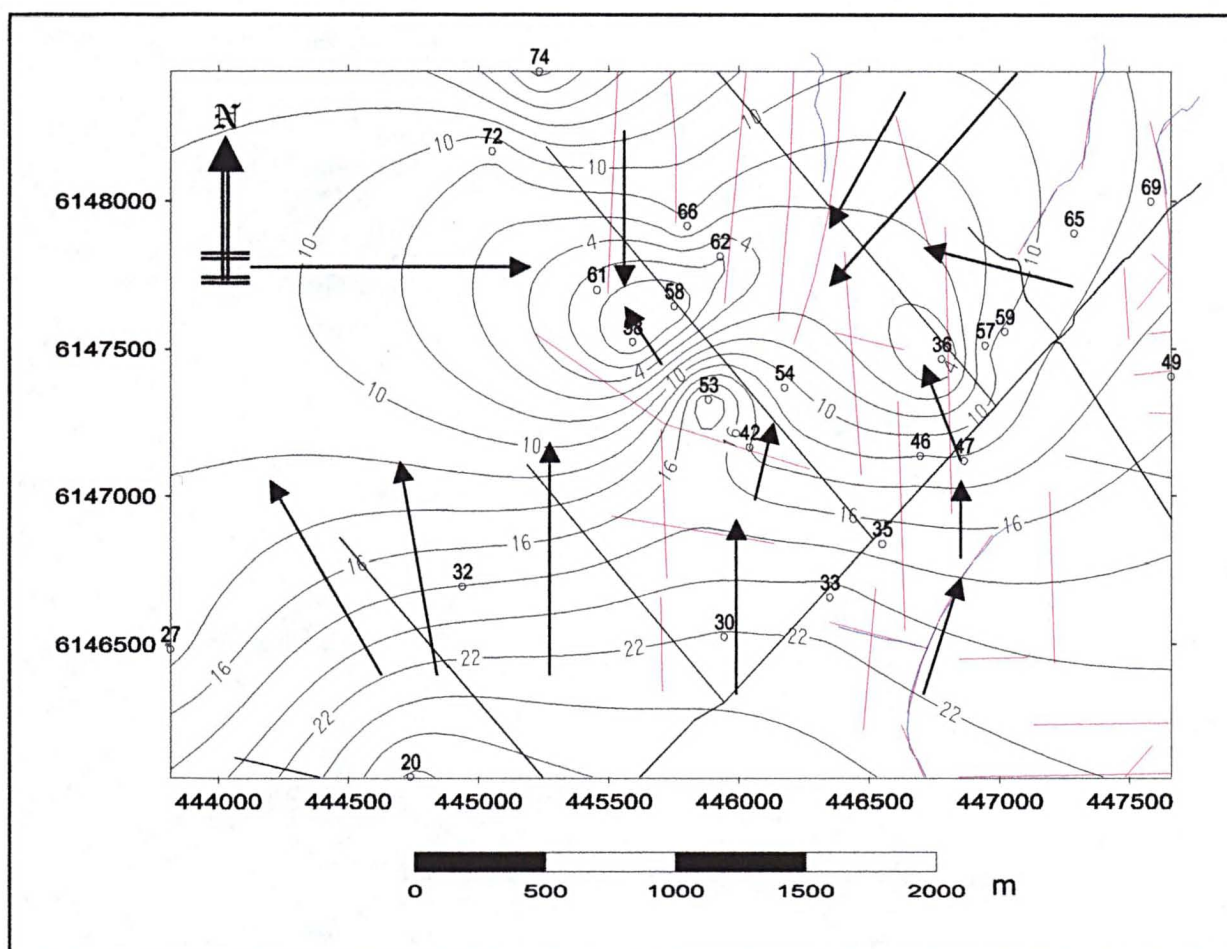
FIGURA 29 CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS DE PRIMAVERA








Convenções:

direção do fluxo	
fraturas	
curvas de nível	
poços	

FIGURA 30 CURVAS POTENCIOMÉTRICAS VIRTUAIS DE VERÃO



Convenções:

direção do fluxo	
fraturas	
curvas de nível	 20 
poços	

5 CONCLUSÕES

A qualidade do sistema aquífero de Punta Espinillo sofreu uma degradação importante no período estudado

Da análise dos mapas de curvas potenciométricas virtuais se pode concluir que apresentam diferentes configurações nas diferentes estações, porém, todas exibem um padrão de fluxo preferencial na direção NS sentido N, que concorda com as direções estruturais do ciclo orogênico transamazônico. O sentido do fluxo é em direção ao norte e subordinadamente ao noroeste. É destacável que o sentido do fluxo, na maioria, provém de áreas continentais e não marinhas. Também registra-se outra direção, subordinada à anterior, com rumo N70W sentido NW e rumo N70E sentido SW que são de idade cretácea. Estas direções de fraturamento também apresentam uma direção de fluxo desde o continente.

Na região se distingue uma única unidade hidrogeológica, que está constituída por rochas do embasamento cristalino, formado principalmente por gnaisses, anfibolitos e mica-xistos.

Os gnaisses formam bons aquíferos, já que apresentam um forte fraturamento, pouco preenchimento das fraturas, e quando estas estão preenchidas é por materiais arenosos gerando boa permeabilidade de fratura, o que facilita o armazenamento e circulação da água subterrânea.

Os para-anfibolitos, desenvolvem um bom fraturamento, porém apresentam um maior preenchimento das fraturas por materiais argilosos devido ao alto número de eventos tectônicos que as afetaram. Esta situação determina que exista circulação e armazenamento, mas uma menor

permeabilidade de fratura gerando como resultado, poços com menores vazões que os gnaisses

Os mica-xistos apresentam menor abertura das fraturas e sua alteração produz argila, a qual preenche as fendas, limitando a circulação das águas subterrâneas. Hidrogeologicamente, estas rochas podem considerar-se como aquíferos pobres, ou aquitardos quando localizam-se entre outras rochas metamórficas como gnaisses ou anfibolitos.

Do ponto de vista tectônico, as fraturas mais frequentes nas quais situam-se os poços com maiores rendimentos são as de tensão (σ_2) as quais apresentam direções NS e EW (Proterozóicas). Subordinadas às anteriores se encontram as de idade Mesozóica com atitudes N70W e N70W, que exibem bons rendimentos quando se encontram interconectadas com as Proterozóicas.

Da análise dos mapas das curvas de iso-concentrações se pode deduzir que existe a tendência que os poços mais distantes do Rio de la Plata são os que apresentam maiores concentrações de cloretos e sódio, íons que em função dos antecedentes, tinham uma origem marinha.

Os índices hidrogeoquímicos revelam que as águas do sistema têm características continentais e não apresentam evidências de influência marinha. Tratam-se em sua totalidade de águas doces que têm sofrido processos de inter-troca de bases e fixação de potássio no terreno.

A razão Mg^{2+}/Ca^{2+} apresenta valores perto da unidade, o que poderia estar associado à dissolução de $CaCO_3$, procedente das concreções calcárias associadas à Formação Libertad, suprajacente.

Com base na análise do exposto, se descarta parcialmente, a hipótese de procedência dos íons de sódio e cloretos pela entrada da cunha salina do Río de la Plata

Pode ser formulada uma hipótese para explicar a procedência do sódio e cloretos nestas águas. Esta hipótese está sustentada pela geologia da área de trabalho, as direções de fluxo preferencial, os valores dos índices hidrogeoquímicos, a proximidade do lineamento SaLAM e a geologia da Bacia de Santa Lucía. Levando em conta que Na bacia sedimentar de Santa Lucía existem depósitos vinculados a fortes processos de evaporação em ambientes continentais, particularmente constatados em níveis gessíferos, associados à deposição das Formações Migue e Castellanos (Veroslavsky, 1999, Rossello *et al*, 2001), os que associoam-se com níveis evaporíticos salinos. Estes depósitos são encontrados a profundidades não superiores aos 50 metros os quais devido a os sistemas de perfuração, da década dos anos 70, não se têm testemunhos. Estas litologias somente podem ser detectadas mediante o estudo de diagrfias, as quais não estiveram disponíveis a tempo para serem analisadas neste trabalho. Por esta causa, surge a hipótese de que as águas do sistema fissurado de Punta Espinillo possuam alguma conexão hidráulica com estes depósitos evaporíticos da Bacia de Santa Lucía.

Outra possível fonte destes íons é a presença deles na água de chuva pela ação dos aerossóis marinhos.

Nenhuma das duas situações tem sido estudada até o momento.

Do ponto de vista da qualidade das águas para consumo humano, as águas deste aquífero apresentam teores de sódio, cloretos e nitratos que ultrapassam os padrões de potabilidade na maioria das épocas amostradas,

qualificando-as como não potáveis segundo os padrões internacionais e como não aceitáveis com base na norma legal uruguaia

As concentrações de nitratos excedem perigosamente os limites nacionais e internacionais. O alto valor se deve às práticas indevidas para aumentar a fertilidade dos solos e à acumulação pontual de animais, que geram grandes quantidades de dejetos, que ao serem lixiviados, contaminam as águas do aquífero.

Com referência a sua aptidão para irrigação, estas águas apresentam restrições muito severas para sua utilização. Isto está fundamentado nos valores da razão de adsorção de sódio (RAS) que evidencia alto risco de salinização e alto risco de alcalinização dos solos.

Do exposto surge que o impacto das atividades antrópicas, (agrícolas e avícolas) na área de trabalho pode ser considerado muito alto, devido ao aumento das vazões extraídas, ao aumento das concentrações de nitrato nas águas, às altas concentrações de sódio e cloretos que as tornam não potáveis, e ao aumento dos riscos de salinização e de alcalinização dos solos, que levam a uma degradação do recurso hídrico e dos solos -

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

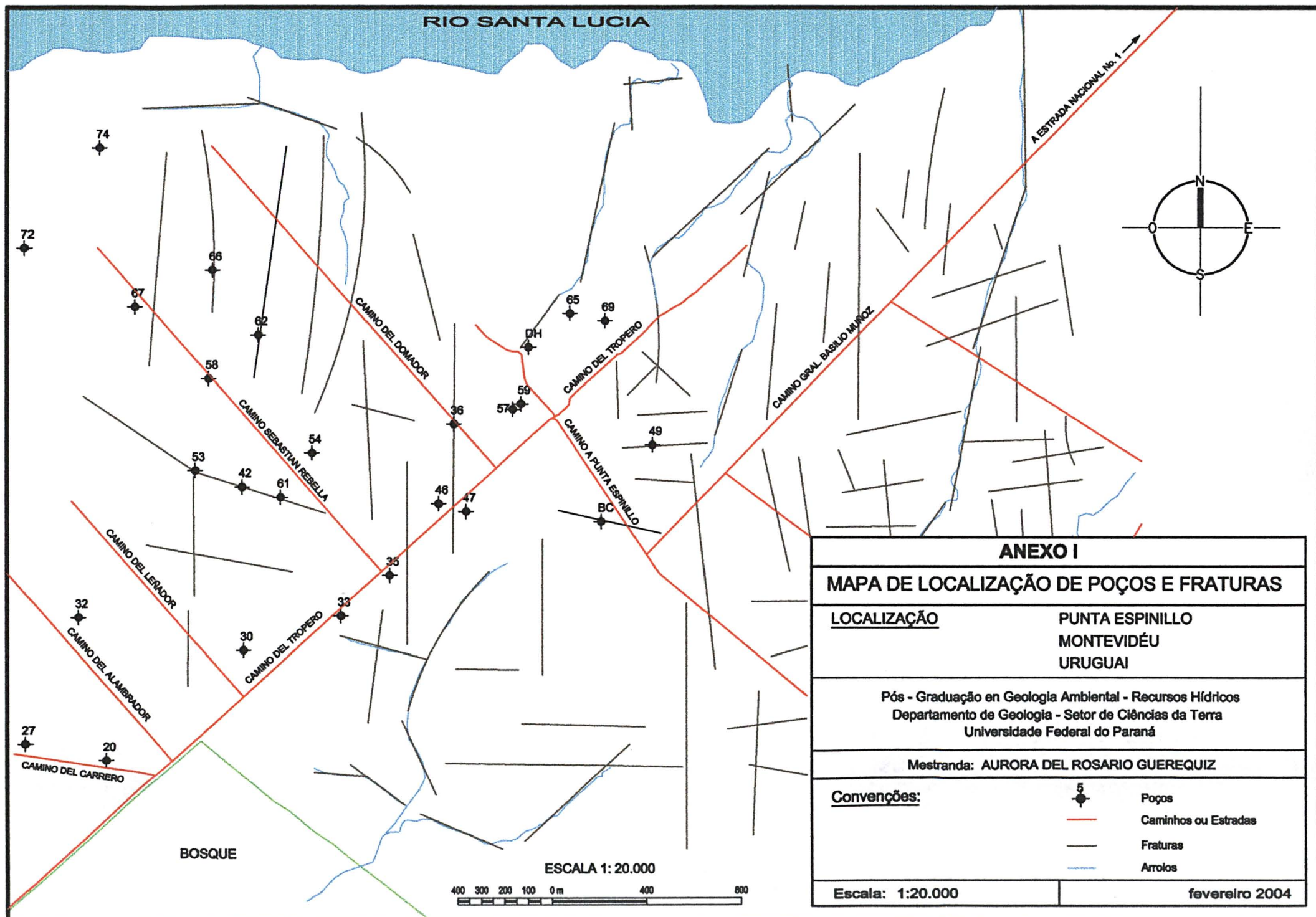
- 1 ALMEIDA, F F M DE **Geochronological division of the Precambrian of South America.** Revista Brasileira de Geociências (2-3) 27-36, São Paulo, Brasil, 1976
- 2 ANGINO, E E Geochemistry and Water quality In THORNTON, I (Ed) **Applied Enviromental Geochemistry** London Academic Press, 1983
- 3 BATALHA, B L & A C PARLATORE **Controle de Qualidade da água para Consumo Humano.** Bases Conceituais e Operacionais São Paulo CETESB, 198p, 1977
- 4 BOSSI, J FERNANDEZ, A & G ELIZALDE **Predevoniano en el Uruguay** Boletín Facultad de Agronomía N°78 Montevideo Uruguay, 1965
- 5 BOSSI, J **Geología del Uruguay** Colección Ciencias N° 2 Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Uruguay, 1966
- 6 BOSSI, J, FERRANDO, L, FERNANDEZ, A, ELIZALDE, G, MORALES, H, LEDESMA, J, CARBALLO, E, MEDINA, E, FORD, I & J MONTAÑA **Carta Geológica del Uruguay Escala 1:100.000** Editada por los autores Montevideo, Uruguay, 1975
- 7 BOSSI, J, PRECIOZZI, F & CAMPAL, N **Predevoniano del Uruguay Parte 1: Terreno Piedra Alta.** Ed Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo, Uruguay, 1993
- 8 BOSSI, J, FERRANDO, L, MONTAÑA, J, CAMPAL, N, MORALES, H, GANCIO, F, SCHIPILOV, A, PINEYRO, D & SPRECHMANN, P **Carta Geológica del Uruguay a escala 1:50.000** Ed Facultad de Agronomía en CD-ROM Montevideo, Uruguay, 1998
- 9 CAMPAL, N, OYHANTÇABAL, P & I BACHMANN **Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000. Hoja H-28 Mosquitos** Convenio DINAMIGE, Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias Montevideo, Uruguay, 1988
- 10 CAMPAL, N & A SCHIPILOV **The Esatern Edge of the Rio de la Plata Craton: a history of tangential collitions.** XIII International Conference on Basementt Tectonics Abstracts 2-3 Blacksbourg, Vancouver, Canada, 1997
- 11 CAORSI, J & J GOÑI **Geología Uruguaya** Instituto Geológico del Uruguay Boletín N° 37 Montevideo, Uruguay, 1958
- 12 CARDELLINO, R & L A FERRANDO **Carta Geológica del Uruguay, escala 1/100.000, segmento Montevideo, sector XCVII** Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Uruguay, 1969

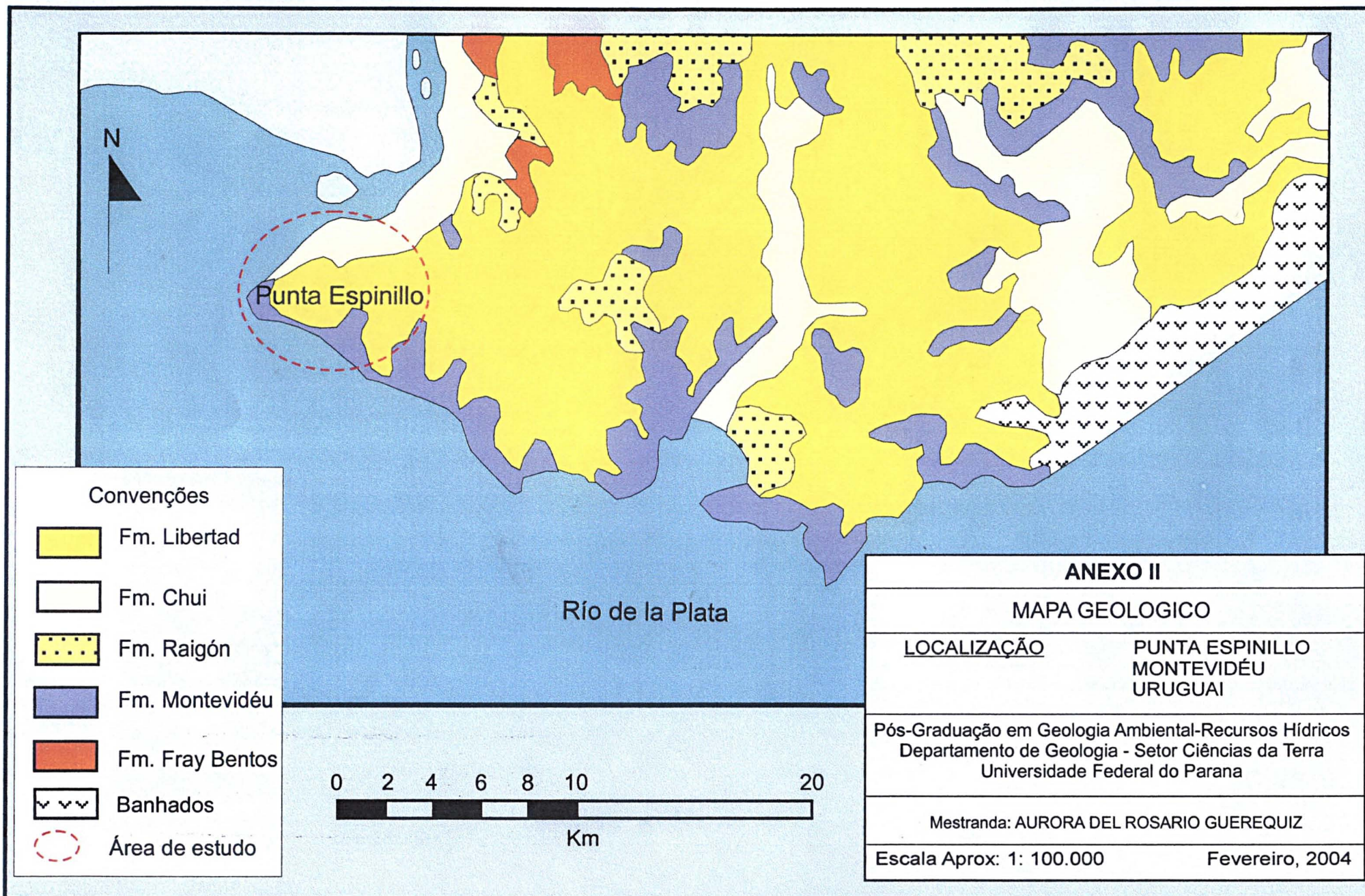
- 13 CASTANY, G **Prospección y Explotación de las aguas Subterráneas.** Barcelona Omega, 1975
- 14 CINGOLANI, C, VARELA, R, DELLA SALDA, L, BOSSI, J, CAMPAL, N, FERRANDO, L A, PIÑEIRO, D & SCHIPILOV, A, **Rb/Sr geochronology from the Rio de la Plata craton of Uruguay.** In **South American Symposium on Isotope Geology**, Curitiba, Brasil, 1997
- 15 CUSTODIO, E **Notas sobre Hidroquímica** Comisaría de aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras públicas Barcelona (s n), 103p, 1965
- 16 CUSTODIO, E **Contribuciones al conocimiento geohidroquímico de la Isla de Lanzarote (Islas canarias, España)** in SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE HIDROLOGÍA DE TERRENOS VOLCÁNICOS Gobierno Español – Unesco- PNUD Arrecife de Lanzarote, 1974
- 17 CUSTODIO, E & LLAMAS M R **Hidrología Subterránea** Barcelona Omega, 1983
- 18 DEMAYO, A & STEEL, A Data handling and presentation In **Water quality assessments – a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring** CHAPMAN, D (Ed) Chapman & Hall, New York, USA, 1996
- 19 DAVIS, S N & DEWIESE, R J M **Hydrogeology** New York Wiley, 1966
- 20 DUYSER, J **STEREONETT version 2.46.** Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik Ruhr Universität Bochum Postfach 102148 D 44780 Bochum, Germany, 2000 Disponível em [http //homepage ruhr-uni-bochum de/johannes P Duyster/stereo/ stereoload htm](http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/johannes.P.Duyster/stereo/stereoload.htm)
- 21 ELIZALDE, G **Conservación y mejora de las playas.** Informe Ministerio de Transporte y Obras Públicas UNESCO URU-73 007 Ed UNESCO, Montevideo, Uruguay, 1976
- 22 ESCUDER, E **Estructura Geológica y Relieve** Enciclopedia *Mi Tierra Uruguay* Ed El Observador 1997
- 23 ESTRADA, P **Manual de Control analítico de la potabilidad de las aguas de consumo humano** Díaz de Santos, Madrid, España, 1986
- 24 FEITOSA, F A C & MANOEL FILHO, J **Hidrogeologia; Conceitos e Aplicações.** 2ª Edição, Cap 5 CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 391p, 2000
- 25 FERRANDO, L A & FERNÁNDEZ, A **Esquema tectónico cronoestratigráfico del Pre-Devoniano en el Uruguay** Annals XXV Congresso Brasileiro de Geologia, I 199-210, São Paulo, Brasil, 1971
- 26 FETTER, C W **Applied Hydrogeology** 3ª Ed Oshkosh University of Wisconsin, 389p, 1994

- 27 FREEZE, R A & CHERRY, J A **Groundwater**. Englewood Prentice-Hall, 1979
- 28 GAUCHER, C, SPRECHMANN, P & MONTAÑA, J **New advances on the geology and paleontology of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado Group of the Nico Pérez Terranes of Uruguay**. Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Monatshefte 2 106-118, Stuttgart Alemania, 1998
- 29 GOSO, H **El cenozoico en el Uruguay** Instituto Geológico del Uruguay Mimeografiado, Montevideo Uruguay, 1965
- 30 GOSO, H & D ANTÓN **Estado actual de los conocimientos sobre el Cuaternario en el Uruguay**. MAP Dirección de Suelos y Fertilizantes (informe interno) Montevideo, Uruguay, 1974
- 31 GOSO AGUILAR, C **Análisis Estratigráfico del Grupo Paysandú** Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, Tese de Doutorado, Rio Claro SP, 1999
- 32 GREENBERG, A E, CLESCERI, L S, EATON, A D **Standard Methods for the examination of water and wastewater** (APHA AWWA WEF) 20th Edition 1998
- 33 HEM, J D Study and interpretation of the characteristics of natural waters 2, **Geological survey Water Supply Paper**. Washington (DC), n 1473, p 1-334, 1970
- 34 HEM, J D **Study and interpretation of chemical characteristics of natural waters** 3^a Ed (SI) US, 1985
- 35 HERVES, F & C M PODOZIS **Terrenos tectonoestratigráficos. In: Evolución de los andes chilenos; una revisión**. Comunicaciones (41) 67-72, Chile, 1991
- 36 HILL, M J, HAWKWORTH, G & TATTERSALL, G **Bacteria nitrosamines and cancer of the stomach** *Br J Cancer* n 28, p 562-567, 1973
- 37 HINDI, E CHEMAS **Caracterização Hidroquímica e Hidrogeológica das fontes cársticas das bacias dos rios Tumirí, Água Comprida, Fervida e Das Onças** – Colombo, PR Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná 1999
- 38 IMM **EVALUACIÓN PARTICIPATIVA DE CALIDAD DE AGUA EN MONTEVIDEO RURAL**. Unidad de Montevideo Rural. INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO - Servicio de Prensa y Comunicación, Montevideo, Uruguay, 2001 Disponible en
- 39 JONES, G H **Memoria explicativa y mapa geológico de la región oriental del Departamento de Canelones** Instituto Geológico del Uruguay Bol N° 34 Montevideo Uruguay, 1956
- 40 KITANIDIS, P K **Introduction to Geostatistics. applications in hydrogeology**. Cambridge University Press, United Kingdom, 1999

- 41 KRAUSKOPF, K. **Introdução à Geoquímica** Tradução Editôra Polígono S A São Paulo-BR 1972
- 42 LLOYD, J W & HEATHCOTE, J A **Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater.** Oxford Clarendon Press, 1985
- 43 METEOROLOGÍA – FCIEN **EL CLIMA Y SU VARIABILIDAD EN URUGUAY** Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias - Uruguay Disponible em <<http://www.meteorologia.fcien.edu.uy/>> , 2003
- 44 MONTAÑO, J, COLLAZO, P, GUÉRÉQUIZ, A R, & MARTÍNEZ PAULO, S **Metodología para el estudio de los sistemas hidrogeológicos discontinuos–Punta Espinillo (Uruguay)** Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología Tercera Epoca Nº 7 año 2000
- 45 MONTAÑO, J, GUÉRÉQUIZ, A R, COLLAZO, P, MARTÍNEZ PAULO, S, DA ROSA FILHO, E & E HINDI **Planificación para la recuperación en sistemas hidrogeológicos discontinuos – Punta Espinillo – Uruguay** Revista de ALHSUD (Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo), Volumen 1, p15-25, 2001
- 46 MONTAÑO, J, GUÉRÉQUIZ, A R, DA ROSA FILHO, E, HINDI, E, CAZAUX, S, MONTAÑO, M, PAMOUKAGLIAN, K, GAGLIARDI, S, PEREIRA, A & H, VIDAL **Determinación de la capacidad de los sistemas fisurados de Punta Espinillo, Montevideo–Uruguay** Anais em CD-ROM do XXXII IAH & VI ALHSUD Congress “Groundwater and Human Development”, Mar del Plata, Argentina 21-25 octubre, 2002
- 47 MONTAÑO, J, GUÉRÉQUIZ, A R, DA ROSA FILHO, E, HINDI, E, CAZAUX, S, MONTAÑO, M, PAMOUKAGLIAN, K, GAGLIARDI, S, PEREIRA, A & H, VIDAL **Determinación de la capacidad de los sistemas fisurados de Punta Espinillo, Montevideo–Uruguay** Revista de ALHSUD (Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo), Volumen 3, p33-41, 2003
- 48 MORALES PÉREZ, E **Caracterización hidrogeoquímica del sistema acuífero fisurado de Punta Espinillo; Montevideo, Uruguay** Trabajo Final de Hidrogeología UDELAR- FCIEN Uruguay, 55p 2002
- 49 MUZIO SAUER, R **Evolução petrológica e geocronologia do maziço alcalino valle chico, Uruguai.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, Tese de Doutorado, 170p Rio Claro SP, 2000
- 50 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (O M S) **International Standards for Drinking Water** Organización Mundial De La Salud (OMS) 1936
- 51 OSE **Normas de Calidad de Aguas Potables para ser aplicadas en todos los servicios de la Administración** R/D 1185/86 Impreso en OSE 1986
- 52 OYHANTÇABAL, P, DE SOUSA, S, & MUZIO, R **Geología y aspectos estructurales del borde orogénico en el extremo sur del**

- Cinturon Dom Feliciano** Em atas do 1er Simposio Internacional NeoProterozoico-Cámbrico de la Cuenca del Plata, 1 22, La paloma – Minas, Uruguay, 1993
- 53 PEREZ, M **Sedimentología y estratigrafía de las Formaciones Raigón y Libertad (plio-pleistoceno) del sudoeste de San José, Cuenca de Santa Lucia-Uruguay** Tesis de Maestria, Universidad de Quebec, Canadá, 1990
 - 54 PIPER, A M A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses **Transactions of the American Geophysical Union – 1944** Washington (DC), part VI, p 914-928, 1945
 - 55 ROSELLO, E, DE SANTA ANA, H & VEROSLAVSKY, G (1999) **Lineamiento Santa Lucia - Aiguá - Merin (Uruguay): Un rifting Transtensivo Mesozoico Abortado Durante la Apertura Atlántica.** Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simposio sobre el Cretácico de América del Sur Serra Negra -SP Brasil 29 /08 al 02/09 de 1999
 - 56 ROSSELLO E, VEROSLAVSKY G & DE SANTA ANA H **La Cuenca Santa Lucía (Uruguay): un pull-apart Juro-Cretácico transtensivo dextral.** Revista de la Asociación Geológica Argentina, N 56 (1) 38-50 Argentina 2001
 - 57 SCHOELLER, H **Geochemie des eaux souterraines** Revue de L'Institute Francaise du Petrole n 10, p 230-244, Paris Masson, 1955
 - 58 SCHOELLER, H **Les eaux souterraines** Cap 7 Paris Masson et Cie, 1962
 - 59 STAFF, M, PENAS, S, CARRIÓN, R, MASSA, E, BERGALLI, L, IARDINO, G & HEINZEN, W **El acuífero fisurado de Punta Espinillo** Revista Geológica Uruguay Volumen 1, Nº1 Ed Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo, Uruguay, 2001
 - 60 STATSOFT, INC **STATISTICA for Windows** [Computer program manual] Tulsa, OK StatSoft, Inc , 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax (918) 749-2217, e-mail info@statsoftinc.com, WEB [http //www statsoftinc.com](http://www.statsoftinc.com) 1995
 - 61 TODO URUGUAY **CD 10 Montevideo** Enciclopedia en CD-ROM, Ed El Observador, Montevideo-Uruguay 1999
 - 62 VEROSLAVSKY, G **Geología da Bacia de Santa Lucia – Uruguai** Instituto de Geociências e Ciências Exactas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, Tese de Doutorado, 152p Río Claro SP, 1999
 - 63 WALTHER, K **El basamento cristalino del Departamento de Montevideo** Boletim do Instituto Geológico Nº 33, Montevideo, Uruguay, 1948





ANEXO III
Datos Hidráulicos

DADOS BÁSICOS				COORDENADAS			PARÂMETROS HIDRAULICOS							
Base	Nº de Poço	PROPIETARIO	ENDEREÇO	X (m)	Y(m)	Z (m)	Q (m3/h)	prof pozo (m)	NEinicial(m)	NE inic acotado	ND(m)	ND acot	Descenso (m)	q (m3/h/m)
MoPEh5	20	Viroga Eugenio	Cno Carrero 11151	444741	6146048	36,75	2,000	91,00	10,00	26,75	80,00	-43,25	70,00	0,03
MoPEh38	27	Elgorriaga Alberto	Cno Carrero 2037	443815	6146482	14,81	18,000	53,00	9,00	5,81	27,00	-12,19	18,00	1,00
MoPEm3	30	Mateus, Juan	Cno Tropero 4492	445944	6146523	31,49	5,200	64,00	10,50	20,99	46,08	-14,59	35,58	0,15
MoPEm29	32	Fernandez, Samuel	11480	444938	6146694	22,54	3,800	47,00	14,70	7,84	24,70	-2,16	10,00	0,38
MoPEm2	33	Blanco, Daniel	Cno Del Tropero 6053	446350	6146657	25,93	18,000	68,00	9,00	16,93	26,00	-0,07	17,00	1,06
MoPEm1	35	Pozniak, Sergio	Cno Del Tropero 5297	446550	6146836	28,28	7,700	54,00	12,00	16,28	41,00	-12,72	29,00	0,27
	36	Cabrera Sergio	Cno Alambrador s/n	446777	6147463	22,82	21,500	49,00	17,00	5,82	36,50	-13,68	19,50	1,10
MoPEm30	42	Borreani, Renzo	S Rebella 11551	446042	6147163	25,52	20,000	58,00	16,50	9,02	26,21	-0,69	9,71	2,06
MoPEh6	46	Pagliarino Pedro	Cno Tropero 5240	446695	6147134	32,33	3,800	74,00	15,00	17,33	69,00	-36,67	54,00	0,07
MoPEh24	47	Marrau Manuel	Cno Tropero 5308	446864	6147117	34,22	18,000	44,00	19,00	15,22	32,00	2,22	13,00	1,38
MoPEm18	49	Jauregui Maria	Cno Vecinal 11050	447662	6147403	27,81	12,000	81,00	13,20	14,61	16,77	11,04	3,57	3,36
MoPEh12	53	Marrau Alberto	S Rebella 11563	445884	6147325	24,38	6,000	66,00	18,80	5,58	45,00	-20,62	26,20	0,23
MoPEh9	54	Cabrera Nancy	S Rebella 11170	446176	6147366	32,76	7,000	75,00	33,50	-0,74	63,00	-30,24	29,50	0,24
MoPEh27	57	Merlo, Celso	Cno Tropero 5342	446944	6147509	22,75	13,000	40,00	14,00	8,75	30,50	-7,75	16,50	0,79
MoPEm27	58	Gutierrez, Ruben	S Rebella 11435	445592	6147522	23,53	3,000	71,00	12,60	10,93	49,13	-25,60	36,53	0,08
(frente)	58	Gutierrez, Ruben	S Rebella 11435	445752	6147643	23,53	3,000	71,00	12,60	10,93	49,13	-25,60	36,53	0,08
MoPEh32/m10	59	Domingo, Sergio	Cno Tropero 5408	447020	6147556	22,76	6,000	60,00	7,00	15,76	35,00	-12,24	28,00	0,21
MoPEm16	61	García, Gerardo	S Rebella 11547	445455	6147698	26,08	9,000	54,00	21,60	4,48	36,10	-10,02	14,50	0,62
MoPEm15	62	Cabral Gerardo	S Rebella 11428	445929	6147810	23,84	32,000	35,00	21,00	2,84	21,32	2,52	0,32	100,00
MoPEh4	65	Bentancourt, César	Cno Tropero	447288	6147888	18,98	6,000	50,00	7,00	11,98	26,50	-7,52	19,50	0,31
MoPEm5	66	Falco, Juan	Cno S Rebella 11046	445803	6147913	25,44	11,500	38,00	23,00	2,44	30,45	-5,01	7,45	1,54
	69	Ferreira, Juan Manuel	Cno Tropero s/n	447585	6147996	15,90	6,000	*	6,00	9,90	*			
MoPEh8	72	Umpierre, Felix	S Rebella	445052	6148166	20,99	12,000	66,00	19,50	1,49	45,00	-24,01	25,50	0,47
MoPEh7	74	Umpierre, Jorge	S Rebella 11785	445234	6148436	20,70	13 000	53 00	24 00	-3 30	40,30	-19,60	16 30	0 80

ANEXO III
Dados Hidráulicos

NÍVEIS ESTATICOS SEM ACOTAR

Nº de Pozo	anterior	3/02	7/02	9/02	12/02
20	10,00	*	7,26	7,69	8,27
27	9,00	*	0,59	0,78	1,47
30	10,50	*	7,69	5,76	9,26
32	14,70	*	1,76	2,22	*
33	9,00	*	3,00	3,31	5,03
35	12,00	12,60	*	*	*
36	12,50	21,37	13,51	12,21	21,63
42	16,50	*	7,90	6,61	12,06
46	15,00	*	12,80	12,52	18,3
47	19,00	17,54	12,30	12,82	*
49	13,20	12,82	9,25	9,40	*
53	18,80	*	0,62	*	3,8
54	33,50	*	21,72	20,57	*
57	14,00	*	6,05	4,36	12,7
58	12,60	*	*	*	25,71
58	12,60	*	*	*	*
59	7,00	*	6,09	*	12,52
61	21,60	*	18,78	16,38	*
62	21,00	*	*	*	22
65	7,00	10,74	5,60	*	*
66	23,00	*	15,52	15,88	17,57
69	6,00	*	1,69	2,95	3,5
72	19,50	*	9,43	10,30	12,78
74	24,00	*	17,73	18,85	*

NÍVEIS ESTATICOS ACOTADOS

Nº de Pozo	anterior	3/02	7/02	9/02	12/02
20	26,75		29,49	29,06	28,48
27	5,81		14,22	14,03	* 13,34
30	20,99		23,80	25,73	22,23
32	7,84		20,78	20,32	
33	16,93		22,93	22,62	20,90
35	16,28	15,68			
36	10,32	1,45	9,31	10,61	1,19
42	9,02		17,62	18,91	13,46
46	17,33		19,53	19,81	14,03
47	15,22	16,68	21,92	21,40	
49	14,61	14,99	18,56	18,41	
53	5,58		23,76		20,58
54	-0,74		11,04	12,19	
57	8,75		16,70	18,39	10,05
58	10,93				-2,18
58	10,93				
59	15,76		16,67		10,24
61	4,48		7,30	9,70	
62	2,84				1,84
65	11,98	8,24	13,38		
66	2,44		9,92	9,56	7,87
69	9,90		14,21	12,95	12,40
72	1,49		11,56	10,69	8,21
74	-3,30		2,97	1,85	

ANEXO III
Dados Químicos - Outono 02
-calibração-

PARÂMETROS	UNIDADES	FATOR	36	47	49	59
campo						
Temperatura	Graus Celsius		18,2	19,6	18	19
pH			7,2	7,36	7,31	7,15
Condutividade	µS/cm		0	0	0	0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm					
Laboratorio						
Temperatura	Graus Celsius		25	25	25	25
pH			7,6	7,3	7,7	7,6
Turbidez	NTU		0,7	0,9	1,3	0,9
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		1510	1790	1410	1680
Solidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	condutividade a 25° x 0,65	981,50	1163,50	916,50	1092,00
Alcalinidade Total TAC	mg/L CaCO3		540	550	525	555
Dureza Total	mg/L CaCO3		150	120	105	180
cations	meq/L		14,568441	17,481479	13,579145	16,107591
anions	meq/L		12,721676	14,935456	12,230464	14,277743
DBI	%		6,767157	7,8539904	5,2254983	6,0221409
Cálcio	mg/L Ca+2	0,049900	40	30	30	45
Sódio	mg/L Na+	0,043500	264	344	263	286
Potássio	mg/L K+	0,025580	3,4	4,7	1,6	2,7
Magnésio	mg/L Mg+2	0,082290	12,17	10,94	7,3	16,43
Ferro	mg/L Fe+2	0,035810	0,2	0,2	0,3	0,1
Amonia	mg/L NH4+	0,055440	64,25	32,12	16,71	137,50
Bicarbonato	mg/L HCO3-	0,016390	540	550	525	555
Cloreto	mg/L Cl-	0,028210	65	125	55	85
Fosfato	mg/L PO4-3	0,031590	0,07	0,07	0,07	1,21
Nitrato	mg/L NO3-	0,016130	48,73	70,88	38,1	79,84
Nitrito	mg/L NO2-2	0,021740	0,05	0,05	0,05	0,05
Sulfato	mg/L SO4-2	0,020820	60	60	70	70
IONS	UNIDADES	FATOR	36	47	49	59
Calcio	meq/L Ca+2	0,049900	1,996	1,497	1,497	2,2455
Sodio	meq/L Na+	0,043500	11,484	14,964	11,4405	12,441
Potassio	meq/L K+	0,025580	0,086972	0,120226	0,040928	0,069066
Magnésio	meq/L Mg+2	0,082290	1,0014693	0,9002526	0,600717	1,3520247
Ferro	meq/l Fe+2	0,035810	0,007162	0,007162	0,010743	0,003581
Amonia	meq/L NH4+	0,055440	3,56202	1,7807328	0,9264024	7,623
Bicarbonato	meq/l HCO3-	0,016390	8,8506	9,0145	8,60475	9,09645
Cloreto	meq/l Cl-	0,028210	1,83365	3,52625	1,55155	2,39785
Fosfato	meq/l PO4-3	0,031590	0,0022113	0,0022113	0,0022113	0,0382239
Nitrato	meq/L NO3-	0,016130	0,7860149	1,1432944	0,614553	1,2878192
Sulfato	meq/L SO4-2	0,020820	1,2492	1,2492	1,4574	1,4574
Nitrito	meq/L NO2-2	0,021740	0,001087	0,001087	0,001087	0,001087
RAZAO						
r Mg+2 / r Ca+2	meq/l		0,5017381	0,6013711	0,4012806	0,6021041
r K+ / r Na+	meq/l		0,0075733	0,0080343	0,0035775	0,0055515
r Cl- / r HCO3-	meq/l		0,207178	0,3911753	0,1803132	0,2636028
SAR	meq/l		9,3806042	13,668026	11,170859	9,2761635

ANEXO III
Dados Quimicos - Outono 02
-calibração-

62 65 74 BC

18,6	18	19,1	18,1
7,13	7,12	7,12	7
0	0	0	0

25	25	25	25
7,6	7,5	7	7,6
2,6	1,8	3,2	1,5
1640	2030	2140	2110
1066,00	1319,50	1391,00	1371,50
550	510	495	555
150	220	200	165

14,199977	18,277648	19,255694	19,584706
14,405762	16,397036	17,675197	18,075526
-0,719381	5,4235903	4,2796076	4,0073561

40	55	45	40
256	317	349	372
2,6	3,6	3	4,1
12,17	20,07	21,29	15,82
0,2	0,2	0,5	0,1
19,28	109,23	48,43	12,85

550	510	495	555
100	180	270	235
0,07	0,27	0,07	0,07
75,31	79,74	30,12	48,73
0,05	0,05	0,07	0,05
65	80	70	75

62	65	74	BC
1,996	2,7445	2,2455	1,996
11,136	13,7895	15,1815	16,182
0,066508	0,092088	0,07674	0,104878
1,0014693	1,6515603	1,7519541	1,3018278
0,007162	0,007162	0,017905	0,003581
1,0688832	6,0557112	2,6849592	0,712404

9,0145	8,3589	8,11305	9,09645
2,821	5,0778	7,6167	6,62935
0,0022113	0,0085293	0,0022113	0,0022113
1,2147503	1,2862062	0,4858356	0,7860149
1,3533	1,6656	1,4574	1,5615
0,001087	0,001087	0,0015218	0,001087
0,5017381	0,6017709	0,7802067	0,6522183
0,0059723	0,0066781	0,0050548	0,0064812
0,3129403	0,6074723	0,9388208	0,7287843
9,0963434	9,3010439	10,738359	12,601818

ANEXO III
Dados Químicos - Inverno

PARÂMETROS	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
campo						
Temperatura	Graus Celsius		9,00	14,00	15,50	10,00
pH			8,20	8,15	8,00	8,20
Condutividade	µS/cm		800	1100	850	650
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		1190	1405	1035	917
Laboratorio						
Temperatura	Graus Celsius		25,00	25,00	25,00	25,00
pH			7,2	7,4	7,2	7,1
Turbidez	NTU		0,7	0,8	0,9	0,5
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		1634	2039	1526	1356
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	condutividade a 25° x 0,65	1062,10	1325,35	991,90	881,40
Alcalinidade Total TAC	mg/L CaCO3					
Dureza Total	mg/L CaCO3		206	296	233	191
cations	meq/L		20,86	25,51	19,66	17,36
anions	meq/L		17,99	21,74	16,78	14,86
DBI	%		7,40	7,99	7,90	7,77
Calcio	mg/L Ca+2	0,049900	44,00	64,00	53,00	44,00
Sodio	mg/L Na+	0,043500	382,00	447,00	342,00	309,00
Potassio	mg/L K+	0,025580	5,00	6,00	5,00	4,00
Magnesio	mg/L Mg+2	0,082290	23,36	33,09	24,45	19,71
Ferro	mg/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	mg/L NH4+	0,055440	64,25	78,38	64,25	64,25
Bicarbonato	mg/L HCO3-	0,016390	750,00	600,00	690,00	700,00
Cloreto	mg/L Cl-	0,028210	123,00	176,00	111,00	75,00
Fosfato	mg/L PO4-3	0,031590	0,05	0,05	0,31	0,04
Nitrato	mg/L NO3-	0,016130	79,74	314,00	93,03	39,87
Nitrito	mg/L NO2-2	0,021740	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato	mg/L SO4-2	0,020820	45,00	90,00	40,00	30,00
ION	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
Calcio	meq/L Ca+2	0,049900	2,20	3,19	2,64	2,20
Sodio	meq/L Na+	0,043500	16,62	19,44	14,88	13,44
Potassio	meq/L K+	0,025580	0,13	0,15	0,13	0,10
Magnesio	meq/L Mg+2	0,082290	1,92	2,72	2,01	1,62
Ferro	meq/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	meq/L NH4+	0,055440	3,56	4,35	3,56	3,56
Bicarbonato	meq/L HCO3-	0,016390	12,29	9,83	11,31	11,47
Cloreto	meq/L Cl-	0,028210	3,47	4,96	3,13	2,12
Fosfato	meq/L PO4-3	0,031590	0,00	0,002	0,01	0,00
Nitrato	meq/L NO3-	0,016130	1,29	5,06	1,50	0,64
Nitrito	meq/L NO2-2	0,021740	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato	meq/L SO4-2	0,020820	0,94	1,87	0,83	0,62
RAZÃO	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
r Mg+2 / r Ca+2			0,88	0,85	0,76	0,74
r K+ / r Na+			0,01	0,01	0,01	0,01
r Cl- / r HCO3-			0,28	0,50	0,28	0,18
SAR			11,58	11,31	9,75	9,73

ANEXO III
Dados Químicos - Inverno

33 36 42 46 47 49 53 54 57 58

11,50	16,00	14,50	11,00	13,00	15,00	11,00	16,50	16,00	15,00
8,40	8,22	8,10	8,30	7,95	8,60	8,00	8,09	7,94	7,99
700	680	900	750	485	650	920	920	720	920
939	828	1122	1031	635	811	1265	1093	877	1147

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	258,00	25,00	25,00
7,2	7,2	7,5	7,6	7,5	7,7	7,4	7,2	7,3	7,4
0,7	0,6	2,7	1,1	0,8	2,0	0,4	0,9	0,8	0,7
1240	1136	1674	1457	1400	1147	1797	1627	1165	1591
806,00	738,40	1088,10	947,05	910,00	745,55	1168,05	1057,55	757,25	1034,15
119	151	326	121	141	122	222	197	174	189

17,25	15,00	21,52	18,51	19,17	15,77	23,73	20,51	16,11	20,74
14,83	12,90	18,47	15,77	16,43	13,33	20,55	17,46	13,74	17,74
7,55	7,50	7,64	7,99	7,69	8,38	7,19	8,04	7,92	7,80

26,00	34,00	71,00	26,00	31,00	25,00	52,00	42,00	38,00	40,00
339,00	273,00	342,00	367,00	373,00	304,00	440,00	378,00	288,00	387,00
5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	4,00	6,00	5,00	4,00	5,00
13,14	16,06	36,13	13,63	15,45	14,48	22,38	22,38	19,22	21,65
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64,25	64,25	64,25	64,25	77,10	64,25	186,33	71,96	64,25	64,25

750,00	640,00	740,00	710,00	650,00	650,00	750,00	650,00	660,00	710,00
51,00	45,00	147,00	85,00	141,00	47,00	164,00	166,00	64,00	126,00
0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04
48,73	38,54	84,17	75,31	66,45	31,90	115,18	79,74	43,41	106,32
0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
15,00	25,00	40,00	25,00	35,00	40,00	85,00	40,00	20,00	40,00

33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
1,30	1,70	3,54	1,30	1,55	1,25	2,59	2,10	1,90	2,00
14,75	11,88	14,88	15,96	16,23	13,22	19,14	16,44	12,53	16,83
0,13	0,10	0,13	0,13	0,13	0,10	0,15	0,13	0,10	0,13
1,08	1,32	2,97	1,12	1,27	1,19	1,84	1,84	1,58	1,78
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,56	3,56	3,56	3,56	4,27	3,56	10,33	3,99	3,56	3,56
12,29	10,49	12,13	11,64	10,65	10,65	12,29	10,65	10,82	11,64
1,44	1,27	4,15	2,40	3,98	1,33	4,63	4,68	1,81	3,55
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,79	0,62	1,36	1,21	1,07	0,51	1,86	1,29	0,70	1,71
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,31	0,52	0,83	0,52	0,73	0,83	1,77	0,83	0,42	0,83
33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
0,83	0,78	0,84	0,86	0,82	0,95	0,71	0,88	0,83	0,89
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,12	0,12	0,34	0,21	0,37	0,12	0,38	0,44	0,17	0,31
13,52	9,67	8,24	14,52	13,67	11,98	12,85	11,72	9,50	12,25

ANEXO III
Dados Químicos - Inverno

59 61 62 65 66 69 72 74

16,90	14,00	17,00	13,00	17,00	13,00	15,00	16,00
8,20	8,07	8,30	8,40	7,90	8,25	8,60	8,00
650	750	820	700	800	820	900	1000
773	958	975	916	951	1073	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
7,3	7,4	7,5	7,1	7,4	7,2	7,3	7,5
0,9	1,0	0,4	0,6	0,7	1,9	0,9	3,6
1269	1369	1384	1335	1222	1840	1452	1578
824,85	889,85	899,60	867,75	794,30	1196,00	943,80	1025,70
200	189	170	195	173	276	110	205

17,67	18,22	18,23	17,62	16,13	23,29	19,60	19,93
15,06	15,53	15,58	15,40	13,85	20,01	16,68	16,95
7,97	7,95	7,84	6,70	7,61	7,56	8,04	8,08

43,00	40,00	36,00	42,00	37,00	59,00	22,00	42,00
312,00	329,00	338,00	313,00	289,00	405,00	397,00	361,00
4,00	5,00	5,00	4,00	4,00	6,00	5,00	5,00
22,51	21,65	19,46	21,90	19,59	31,27	13,38	24,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64,25	64,25	64,25	64,25	64,25	64,25	64,25	64,25

680,00	700,00	675,00	600,00	690,00	600,00	775,00	625,00
81,00	99,00	90,00	118,00	40,00	296,00	81,00	151,00
0,04	0,05	0,04	0,13	0,05	0,04	0,06	0,05
75,31	39,83	70,88	106,32	48,73	48,73	53,16	106,32
0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
20,00	30,00	40,00	25,00	30,00	50,00	40,00	35,00

59	61	62	65	66	69	72	74
2,15	2,00	1,80	2,10	1,85	2,94	1,10	2,10
13,57	14,31	14,70	13,62	12,57	17,62	17,27	15,70
0,10	0,13	0,13	0,10	0,10	0,15	0,13	0,13
1,85	1,78	1,60	1,80	1,61	2,57	1,10	2,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56
11,15	11,47	11,06	9,83	11,31	9,83	12,70	10,24
2,29	2,79	2,54	3,33	1,13	8,35	2,29	4,26
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,21	0,64	1,14	1,71	0,79	0,79	0,86	1,71
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,42	0,62	0,83	0,52	0,62	1,04	0,83	0,73
59	61	62	65	66	69	72	74
0,86	0,89	0,89	0,86	0,87	0,87	1,00	0,96
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,21	0,24	0,23	0,34	0,10	0,85	0,18	0,42
9,60	10,41	11,28	9,75	9,56	10,61	16,47	10,97

ANEXO III
Dados Químicos - Primavera

PARÂMETROS	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
campo						
Temperatura	Graus Celsius		17,70	17,40	17,80	17,50
pH			8,04	8,02	8,14	7,97
Condutividade	µS/cm		0	0	0	0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		0	0	0	0

Laboratorio

Temperatura	Graus Celsius		25,00	25,00	25,00	25,00
pH			7,4	7,3	7,2	7,2
Turbidez	NTU		0,0	0,0	0,0	0,0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		1742	2262	1698	1547
Solidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	condutividade a 25° x 0,65	1132,30	1470,30	1103,70	1005,55
Alcalinidade Total TAC	mg/L CaCO3		611,00	529,00	599,00	641,00
Dureza Total	mg/L CaCO3		201	282	226	180

cations	meq/L		20,82	24,76	17,95	16,56
anions	meq/L		16,65	21,73	15,76	14,18
DBI	%		11,15	6,50	6,49	7,72

Calcio	mg/L Ca+2	0,049900	43,00	62,00	54,00	43,00
Sodio	mg/L Na+	0,043500	384,00	436,00	304,00	295,00
Potassio	mg/L K+	0,025580	4,00	6,00	8,00	5,00
Magnesio	mg/L Mg+2	0,082290	22,75	30,90	22,14	17,64
Ferro	mg/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	mg/L NH4+	0,055440				

Bicarbonato	mg/L HCO3-	0,016390	611,00	529,00	599,00	641,00
Cloreto	mg/L Cl-	0,028210	109,00	164,00	102,00	67,00
Fosfato	mg/L PO4-3	0,031590	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato	mg/L NO3-	0,016130	110,75	310,00	106,00	39,87
Nitrito	mg/L NO2-2	0,021740	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato	mg/L SO4-2	0,020820	85,00	165,00	65,00	55,00

ION	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
Calcio	meq/L Ca+2	0,049900	2,15	3,09	2,69	2,15
Sodio	meq/L Na+	0,043500	16,70	18,97	13,22	12,83
Potassio	meq/L K+	0,025580	0,10	0,15	0,20	0,13
Magnesio	meq/L Mg+2	0,082290	1,87	2,54	1,82	1,45
Ferro	meq/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	meq/L NH4+	0,055440	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato	meq/L HCO3-	0,016390	10,01	8,67	9,82	10,51
Cloreto	meq/L Cl-	0,028210	3,07	4,63	2,88	1,89
Fosfato	meq/L PO4-3	0,031590	0,00	0,000	0,00	0,00
Nitrato	meq/L NO3-	0,016130	1,79	5,00	1,71	0,64
Nitrito	meq/L NO2-2	0,021740	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato	meq/L SO4-2	0,020820	1,77	3,44	1,35	1,15
RAZAO	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
r Mg+2 / r Ca+2			0,87	0,82	0,68	0,68
r K+ / r Na+			0,01	0,01	0,02	0,01
r Cl- / r HCO3-			0,31	0,53	0,29	0,18
SAR			11,79	11,30	8,80	9,57

ANEXO III
Datos Quimicos - Primavera

33 36 42 46 47 49 53 54 57 58

18,80	17,80	19,00	17,90	18,90	17,40	19,40	18,90	17,00	18,20
7,96	8,16	7,81	8,17	8,05	8,70	7,82	7,81	8,40	7,77
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	258,00	25,00	25,00
7,2	7,5	7,3	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,4	7,4
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1410	1260	1898	1802	1582	1370	1880	1736	1295	1779
916,50	819,00	1233,70	1171,30	1028,30	890,50	1222,00	1128,40	841,75	1156,35
585,00	543,00	640,00	621,00	561,00	552,00	636,00	550,00	558,00	594,00
109	147	319	137	135	126	213	199	188	199

15,16	13,83	23,64	21,61	19,44	14,92	24,06	21,39	14,60	20,91
12,91	11,32	18,81	16,51	15,05	12,90	18,34	16,24	11,98	17,15
8,02	9,99	11,39	13,39	12,73	7,28	13,49	13,70	9,84	9,89

26,00	34,00	72,00	31,00	30,00	29,00	49,00	44,00	39,00	44,00
296,00	248,00	394,00	431,00	382,00	284,00	453,00	398,00	248,00	388,00
4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00
10,71	15,09	33,82	14,48	14,60	13,02	22,02	21,65	22,02	21,65
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

585,00	543,00	640,00	621,00	561,00	552,00	636,00	550,00	558,00	594,00
54,00	42,00	169,00	132,00	133,00	62,00	151,00	171,00	49,00	135,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53,16	37,65	97,46	84,17	53,16	39,87	110,75	84,17	38,50	132,90
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,00	30,00	95,00	60,00	60,00	70,00	90,00	50,00	40,00	70,00

33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
1,30	1,70	3,59	1,55	1,50	1,45	2,45	2,20	1,95	2,20
12,88	10,79	17,14	18,75	16,62	12,35	19,71	17,31	10,79	16,88
0,10	0,10	0,13	0,13	0,13	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05
0,88	1,24	2,78	1,19	1,20	1,07	1,81	1,78	1,81	1,78
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,59	8,90	10,49	10,18	9,19	9,05	10,42	9,01	9,15	9,74
1,52	1,18	4,77	3,72	3,75	1,75	4,26	4,82	1,38	3,81
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,86	0,61	1,57	1,36	0,86	0,64	1,79	1,36	0,62	2,14
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,94	0,62	1,98	1,25	1,25	1,46	1,87	1,04	0,83	1,46
33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
0,68	0,73	0,77	0,77	0,80	0,74	0,74	0,81	0,93	0,81
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
0,16	0,13	0,45	0,37	0,41	0,19	0,41	0,54	0,15	0,39
12,34	8,90	9,60	16,02	14,31	11,01	13,51	12,28	7,87	11,97

ANEXO III
Datos Quimicos - Primavera

59 61 62 65 66 69 72 74

17,90	18,70	18,30	19,30	18,00	18,80	18,50	18,60
8,40	7,81	7,79	8,27	770,00	8,15	8,00	8,00
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
7,5	7,4	7,4	7,3	7,4	7,2	7,5	7,5
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1512	1447	1466	1726	1314	2137	1536	1583
982,80	940,55	952,90	1121,90	854,10	1389,05	998,40	1028,95
576,00	587,00	558,00	511,00	565,00	479,00	637,00	546,00
188	183	169	223	162	349	103	167

16,45	18,50	18,07	20,35	16,50	24,90	19,75	19,38
13,87	13,44	13,77	16,15	12,72	19,46	14,77	14,94
8,51	15,85	13,50	11,49	12,91	12,27	14,44	12,93

43,00	39,00	36,00	48,00	37,00	76,00	23,00	37,00
290,00	340,00	336,00	363,00	303,00	409,00	405,00	367,00
3,00	2,00	3,00	4,00	3,00	5,00	3,00	3,00
19,59	20,80	19,22	25,06	16,91	38,69	11,07	18,13
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

576,00	587,00	558,00	511,00	565,00	479,00	637,00	546,00
77,00	83,00	84,00	187,00	58,00	327,00	75,00	135,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75,31	39,87	75,31	84,17	48,73	44,30	53,16	70,88
0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	40,00	50,00	55,00	50,00	80,00	65,00	50,00

59	61	62	65	66	69	72	74
2,15	1,95	1,80	2,40	1,85	3,79	1,15	1,85
12,62	14,79	14,62	15,79	13,18	17,79	17,62	15,96
0,08	0,05	0,08	0,10	0,08	0,13	0,08	0,08
1,61	1,71	1,58	2,06	1,39	3,18	0,91	1,49
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,44	9,62	9,15	8,38	9,26	7,85	10,44	8,95
2,17	2,34	2,37	5,28	1,64	9,22	2,12	3,81
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,21	0,64	1,21	1,36	0,79	0,71	0,86	1,14
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,04	0,83	1,04	1,15	1,04	1,67	1,35	1,04
59	61	62	65	66	69	72	74
0,75	0,88	0,88	0,86	0,75	0,84	0,79	0,81
0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,23	0,24	0,26	0,63	0,18	1,17	0,20	0,43
9,20	10,94	11,25	10,58	10,36	9,53	17,36	12,36

ANEXO III
Dados Químicos - Verão

PARÂMETROS	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
campo						
Temperatura	Graus Celsius					
pH a 25°			8,27		8,01	8,08
Condutividade	µS/cm		0	0	0	0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		0	0	0	0
Laboratorio						
Temperatura	Graus Celsius		25,00	25,00	25,00	25,00
pH			7,4	7,6	7,1	7,1
Turbidez	NTU		0,0	0,0	0,0	0,0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm		2080	2031	1740	1400
Solidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	condutividade a 25° x 0,65	1352,00	1320,15	1131,00	910,00
Alcalinidade Total TAC	mg/L CaCO3		605,00	558,00	602,00	625,00
Dureza Total	mg/L CaCO3		199	267	234	187
cations	meq/L		19,20	24,12	20,24	17,50
anions	meq/L		16,99	18,48	16,95	14,74
DBI	%		6,10	13,23	8,85	8,54
Calcio	mg/L Ca+2	0,049900	44,00	57,00	55,00	43,00
Sodio	mg/L Na+	0,043500	347,00	429,00	352,00	314,00
Potassio	mg/L K+	0,025580	4,00	5,60	8,00	5,00
Magnesio	mg/L Mg+2	0,082290	22,00	30,00	24,00	19,00
Ferro	mg/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	mg/L NH4+	0,055440				
Bicarbonato	mg/L HCO3-	0,016390	605,00	558,00	602,00	625,00
Cloreto	mg/L Cl-	0,028210	105,00	166,00	114,00	70,00
Fosfato	mg/L PO4-3	0,031590	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato	mg/L NO3-	0,016130	119,61	177,20	97,46	40,31
Nitrito	mg/L NO2-2	0,021740	0,05	6,00	0,05	0,05
Sulfato	mg/L SO4-2	0,020820	105,00	80,00	110,00	90,00
ION	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
Calcio	meq/L Ca+2	0,049900	2,20	2,84	2,74	2,15
Sodio	meq/L Na+	0,043500	15,09	18,66	15,31	13,66
Potassio	meq/L K+	0,025580	0,10	0,14	0,20	0,13
Magnesio	meq/L Mg+2	0,082290	1,81	2,47	1,97	1,56
Ferro	meq/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	meq/L NH4+	0,055440	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato	meq/L HCO3-	0,016390	9,92	9,15	9,87	10,24
Cloreto	meq/L Cl-	0,028210	2,96	4,68	3,22	1,97
Fosfato	meq/L PO4-3	0,031590	0,00	0,000	0,00	0,00
Nitrato	meq/L NO3-	0,016130	1,93	2,86	1,57	0,65
Nitrito	meq/L NO2-2	0,021740	0,00	0,13	0,00	0,00
Sulfato	meq/L SO4-2	0,020820	2,19	1,67	2,29	1,87
RAZAO	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
r Mg+2 / r Ca+2			0,82	0,87	0,72	0,73
r K+ / r Na+			0,01	0,01	0,01	0,01
r Cl- / r HCO3-			0,30	0,51	0,33	0,19
SAR			10,67	11,45	9,97	10,03

ANEXO III
Dados Químicos - Verão

33 36 42 46 47 49 53 54 57 58

8,15	8,11						7,84	7,60		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
7,3	7,1	7,3	7,6	7,6	7,6	7,6	7,2	7,0	7,4	7,4
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1356	1333	2038	1660	1582	1370	1880	1627	1470	1627	1627
881,40	866,45	1324,70	1079,00	1028,30	890,50	1222,00	1057,55	955,50	1057,55	1057,55
589,00	543,00	625,00	605,00	561,00	552,00	636,00	570,00	581,00	553,00	553,00
116	163	313	124	135	126	213	183	182	162	162

16,66	14,78	23,63	19,79	19,44	14,92	24,06	19,38	17,70	20,07	20,07
13,63	13,12	18,46	15,81	15,05	12,90	19,05	16,00	15,00	14,91	14,91
10,01	5,95	12,29	11,17	12,73	7,28	11,63	9,54	8,25	14,75	14,75

27,00	38,00	71,00	28,00	30,00	29,00	49,00	40,00	40,00	38,00	38,00
327,00	263,00	396,00	395,00	382,00	284,00	453,00	360,00	322,00	384,00	384,00
4,00	5,00	5,70	5,40	5,00	2,00	4,00	3,00	2,00	2,70	2,70
12,00	16,00	33,00	13,00	14,60	13,02	22,02	20,00	20,00	17,00	17,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

589,00	543,00	625,00	605,00	561,00	552,00	679,00	570,00	581,00	553,00	553,00
60,00	65,00	196,00	123,00	133,00	62,00	151,00	119,00	87,00	121,00	121,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57,59	57,59	88,60	66,45	53,16	39,87	110,75	88,60	84,17	79,74	79,74
0,05	0,05	0,23	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05
65,00	70,00	60,00	65,00	60,00	70,00	90,00	90,00	80,00	55,00	55,00

33	36	42	46	47	49	53	54	57	58	
1,35	1,90	3,54	1,40	1,50	1,45	2,45	2,00	2,00	1,90	
14,22	11,44	17,23	17,18	16,62	12,35	19,71	15,66	14,01	16,70	
0,10	0,13	0,15	0,14	0,13	0,05	0,10	0,08	0,05	0,07	
0,99	1,32	2,72	1,07	1,20	1,07	1,81	1,65	1,65	1,40	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9,65	8,90	10,24	9,92	9,19	9,05	11,13	9,34	9,52	9,06	
1,69	1,83	5,53	3,47	3,75	1,75	4,26	3,36	2,45	3,41	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,93	0,93	1,43	1,07	0,86	0,64	1,79	1,43	1,36	1,29	
0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1,35	1,46	1,25	1,35	1,25	1,46	1,87	1,87	1,67	1,15	
33	36	42	46	47	49	53	54	57	58	
0,73	0,69	0,77	0,77	0,80	0,74	0,74	0,82	0,82	0,74	
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
0,18	0,21	0,54	0,35	0,41	0,19	0,38	0,36	0,26	0,38	
13,17	9,03	9,74	15,47	14,31	11,01	13,51	11,61	10,38	13,01	

ANEXO III
Dados Químicos - Verão

59 61 62 65 66 69 72 74

7,50					7,20	7,20	7,77
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
7,2	7,3	7,4		7,3	7,3	7,3	7,3
0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
1446	1524	1503		1258	1900	1604	1808
939,90	990,60	976,95		817,70	1235,00	1042,60	1175,20
563,00	600,00	546,00		571,00	509,00	655,00	506,00
195	180	156		150	280	117	191

18,18	19,49	18,16	0,00	16,30	21,88	19,14	19,83
14,72	14,43	14,04	0,00	11,85	19,64	16,23	17,15
10,51	14,89	12,78		15,82	5,39	8,22	7,25

42,00	42,00	35,00		34,00	58,00	25,00	43,00
327,00	364,00	345,00		303,00	371,00	385,00	367,00
2,00	2,90	3,40		4,10	5,00	3,00	3,00
22,00	18,00	16,00		16,00	33,00	13,00	20,00
0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00

563,00	600,00	546,00		571,00	509,00	655,00	506,00
89,00	92,00	92,00		33,00	276,00	93,00	221,00
0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
75,31	40,31	70,88		31,89	44,30	62,02	39,87
0,05	0,05	0,05		0,05	4,10	0,05	0,05
85,00	65,00	65,00		50,00	130,00	90,00	95,00

59	61	62	65	66	69	72	74
2,10	2,10	1,75	0,00	1,70	2,89	1,25	2,15
14,22	15,83	15,01	0,00	13,18	16,14	16,75	15,96
0,05	0,07	0,09	0,00	0,10	0,13	0,08	0,08
1,81	1,48	1,32	0,00	1,32	2,72	1,07	1,65
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,23	9,83	8,95	0,00	9,36	8,34	10,74	8,29
2,51	2,60	2,60	0,00	0,93	7,79	2,62	6,23
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,21	0,65	1,14	0,00	0,51	0,71	1,00	0,64
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
1,77	1,35	1,35	0,00	1,04	2,71	1,87	1,98
59	61	62	65	66	69	72	74
0,86	0,71	0,75		0,78	0,94	0,86	0,77
0,00	0,00	0,01		0,01	0,01	0,00	0,00
0,27	0,26	0,29		0,10	0,93	0,24	0,75
10,18	11,84	12,13		10,74	9,64	15,56	11,59

ANEXO III
Dados Químicos - Outono 03

PARÂMETROS	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
campo						
Temperatura	Graus Celsius					
pH a 25°						
Condutividade	µS/cm				0	0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm				0	0

Laboratorio

Temperatura	Graus Celsius				25,00	25,00
pH					7,7	7,2
Turbidez	NTU				0,0	0,0
condutividade corrigida a 25°	µS/cm				1527	1547
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	condutividade a 25° x 0,65			992,55	1005,55
Alcalinidade Total TAC	mg/L CaCO3				560,00	641,00
Dureza Total	mg/L CaCO3				301	180

cations	meq/L				17,10	16,59
anions	meq/L				15,19	14,18
DBI	%				5,90	7,81

Calcio	mg/L Ca+2	0,049900			72,00	43,00
Sodio	mg/L Na+	0,043500			245,00	295,00
Potassio	mg/L K+	0,025580			18,00	5,00
Magnésio	mg/L Mg+2	0,082290			29,00	18,00
Ferro	mg/L Fe+2	0,035810			0,00	0,00
Amonia	mg/L NH4+	0,055440				

Bicarbonato	mg/L HCO3-	0,016390			560,00	641,00
Cloreto	mg/L Cl-	0,028210			80,00	67,00
Fosfato	mg/L PO4-3	0,031590			0,00	0,00
Nitrato	mg/L NO3-	0,016130			97,46	39,87
Nitrito	mg/L NO2-2	0,021740			0,00	0,00
Sulfato	mg/L SO4-2	0,020820			105,00	55,00

ION	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
Calcio	meq/L Ca+2	0,049900	0,00	0,00	3,59	2,15
Sodio	meq/L Na+	0,043500	0,00	0,00	10,66	12,83
Potassio	meq/L K+	0,025580	0,00	0,00	0,46	0,13
Magnésio	meq/L Mg+2	0,082290	0,00	0,00	2,39	1,48
Ferro	meq/L Fe+2	0,035810	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonia	meq/L NH4+	0,055440	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato	meq/L HCO3-	0,016390	0,00	0,00	9,18	10,51
Cloreto	meq/L Cl-	0,028210	0,00	0,00	2,26	1,89
Fosfato	meq/L PO4-3	0,031590	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato	meq/L NO3-	0,016130	0,00	0,00	1,57	0,64
Nitrito	meq/L NO2-2	0,021740	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato	meq/L SO4-2	0,020820	0,00	0,00	2,19	1,15
RAZÃO	UNIDADES	FATOR	20	27	30	32
r Mg+2 / r Ca+2					0,66	0,69
r K+ / r Na+					0,04	0,01
r Cl- / r HCO3-					0,25	0,18
SAR					6,16	9,53

ANEXO III
Dados Quimicos - Outono 03

33 36 42 46 47 49 53 54 57 58

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00			25,00	25,00	25,00		25,00	25,00
7,4	7,2			7,0	7,5	7,4		7,5	7,5
0,0	0,0			0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
1376	1655			1603	1281	1684		1479	1686
894,40	1075,75			1041,95	832,65	1094,60		961,35	1095,90
598,00	564,00			557,00	501,00	632,00		569,00	553,00
111	166			131	108	210		185	158

15,91	17,89			17,65	14,02	19,04		16,79	17,84
13,21	15,83			15,32	11,53	16,45		14,25	16,13
9,26	6,11			7,08	9,76	7,30		8,18	5,05

24,00	35,00			27,00	23,00	47,00		38,00	36,00
313,00	333,00			343,00	272,00	339,00		301,00	335,00
4,20	3,50			5,70	2,20	5,40		2,90	3,00
12,00	19,00			15,00	12,00	22,00		21,00	17,00
0,00	0,00			0,00	0,00	0,00		0,00	0,00

598,00	564,00			557,00	501,00	632,00		569,00	553,00
61,00	131,00			137,00	57,00	129,00		91,00	138,00
0,00	0,00			0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
53,16	88,60			66,45	35,00	48,73		75,31	106,32
0,00	0,00			0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
40,00	70,00			60,00	55,00	80,00		55,00	70,00

33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
1,20	1,75	0,00	0,00	1,35	1,15	2,35	0,00	1,90	1,80
13,62	14,49	0,00	0,00	14,92	11,83	14,75	0,00	13,09	14,57
0,11	0,09	0,00	0,00	0,15	0,06	0,14	0,00	0,07	0,08
0,99	1,56	0,00	0,00	1,23	0,99	1,81	0,00	1,73	1,40
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,80	9,24	0,00	0,00	9,13	8,21	10,36	0,00	9,33	9,06
1,72	3,70	0,00	0,00	3,86	1,61	3,64	0,00	2,57	3,89
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,86	1,43	0,00	0,00	1,07	0,56	0,79	0,00	1,21	1,71
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,83	1,46	0,00	0,00	1,25	1,15	1,67	0,00	1,15	1,46
33	36	42	46	47	49	53	54	57	58
0,82	0,90			0,92	0,86	0,77		0,91	0,78
0,01	0,01			0,01	0,00	0,01		0,01	0,01
0,18	0,40			0,42	0,20	0,35		0,28	0,43
13,03	11,26			13,13	11,45	10,23		9,73	11,53

ANEXO III
Datos Quimicos - Outono 03

59 61 62 65 66 69 72 74

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

25,00	25,00	25,00	25,00		25,00		25,00
7,1	7,8	7,6	7,2		7,1		7,4
	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
1482	1527	1476	1664		2013		1659
963,30	992,55	959,40	1081,60		1308,45		1078,35
557,00	601,00	555,00	513,00		507,00		525,00
179	167	145	200		266		156

16,65	16,81	16,50	18,13		21,47		17,67
14,12	14,42	13,86	12,77		19,50		15,64
8,24	7,63	8,68	17,35		4,81		6,10

39,00	38,00	33,00	41,00		55,00		34,00
300,00	307,00	311,00	324,00		369,00		333,00
3,70	2,90	3,50	4,00		4,90		3,50
19,00	18,00	15,00	23,00		31,00		17,00
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00

557,00	601,00	555,00	513,00		507,00		525,00
87,00	94,00	89,00	66,00		295,00		172,00
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00
79,74	41,64	75,31	84,17		48,73		38,54
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00
60,00	60,00	50,00	55,00		100,00		75,00

59	61	62	65		69	72	74
1,95	1,90	1,65	2,05		2,74	0,00	1,70
13,05	13,35	13,53	14,09		16,05	0,00	14,49
0,09	0,07	0,09	0,10		0,13	0,00	0,09
1,56	1,48	1,23	1,89		2,55	0,00	1,40
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
9,13	9,85	9,10	8,41		8,31	0,00	8,60
2,45	2,65	2,51	1,86		8,32	0,00	4,85
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
1,29	0,67	1,21	1,36		0,79	0,00	0,62
0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
1,25	1,25	1,04	1,15		2,08	0,00	1,56
59	61	62	65		69	72	74
0,80	0,78	0,75	0,93		0,93		0,82
0,01	0,01	0,01	0,01		0,01		0,01
0,27	0,27	0,28	0,22		1,00		0,56
9,85	10,28	11,27	10,04		9,86		11,64